

投稿論文(和文)

PAPERS

GPS 測定値から平面座標系への座標変換について

桜井春輔¹・川嶋幾夫²・山野辺裕一³

¹正会員 工博 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)

²学生会員 修(工) 神戸大学大学院自然科学研究科 (〒657 同上)

³正会員 (元 神戸大学工学部学生) 大林組鹿島土木総合工事事務所 (〒314 茨城県鹿島郡鹿島町光928)

GPS (Global Positioning System) を用いれば、高精度で測点間の3次元相対座標を求めることができる。しかしながら、GPS を基準点測量へ適用するにあたっては、その成果が従来の測量の成果と異なる座標系で表わされることが問題となる。そこで、本研究では、せいぜい一辺が10 km以内の地域で行われる基準点測量を対象として、GPS 測量の成果を我が国の平面直角座標および標高に変換する方法を開発した。また、水準測量への適用についても検討した。

Key Words: GPS (Global Positioning System), control survey, coordinate transformation

1. はじめに

GPS (Global Positioning System) の利用方法には、単独測位法と相対測位法がある。単独測位法は、4個の衛星の電波を同時に受信し、各衛星からの情報を受信機内の計算機で処理し、地球上での位置(例えば、経緯度および高さ)などを求めるものである。この方法による測位の精度は、水平面内で100 m、鉛直方向で150 m程度であり、主にナビゲーションに用いられる¹⁾。一方、相対測位法は複数の観測点で同時に同じ人工衛星からの電波を受信し、これらの点において受信した電波に関して共通する誤差(気象、電離層の影響による遅延など)を相殺して、観測点間の相対的な位置関係を高精度で求める方法である。この相対測位法のうち、干渉測位法では、数100 kmまでの基線長を0.1~1.0 ppm程度の精度で測定できる²⁾。このため、干渉測位法は、従来の測量の手段に代えて用いることができる。

干渉測位法は多くの利点を有するため、まず、測地の分野における長基線の変位の測定手段として²⁾、その後、基準点測量^{3~8)}、出来高測量などの土木測量^{9~11)}、あるいは地すべり移動¹²⁾や変位計測¹³⁾などの手段として急速に普及してきた。

しかしながら、GPS 測量の成果はWGS-84座標系において表わされるため、従来の測量の成果とは整合しない。したがって、測点間の距離を求める場合を除いては、直接その成果を用いることはできない。そのため、これまでのGPSは、この点が問題にならない分野への適用が多かった。

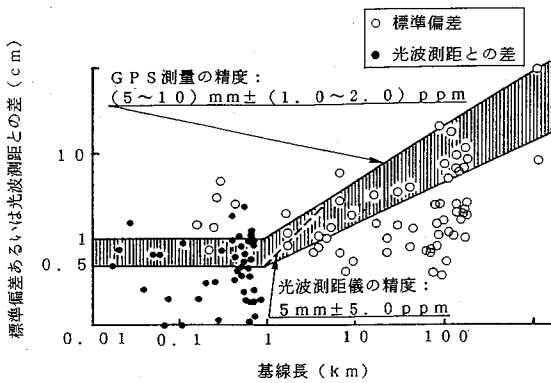
しかし、WGS-84座標系で表わされるGPS測量の成

果が、その測定精度を保ったうえで従来の測量成果と整合するように変換できれば、GPS測量で求められる3次元座標をさらに有効に活用することができる。

そこで、本研究では、WGS-84座標系で表わされるGPS測量の成果を、その精度を保って、我が国の平面直角座標および標高に変換する方法を開発した。ここでは、基準点測量の多くが公共測量として行われ、さらにその公共測量のほとんどが、せいぜい一辺10 kmの地域内において行われることから、その程度の広さの範囲内の測量を対象にした。なお、基準点測量としては、一~三等三角点を用いる一級基準点測量を対象とし、さらに、水準測量への適用についても検討した。その場合には四級水準測量を対象にした。

2. GPS 測量の精度

GPS 測量の精度は干渉測位法では受信する人工衛星の数および受信継続時間によって左右されるが、受信する人工衛星数によりそれぞれ示される推奨時間を満足するように行われた測定では、図-1に示すように(5~10)mm+(1.0~2.0)ppm¹⁴⁾の精度である。この図において、測定の誤差は数回のGPS測量から得られる距離の標準偏差、あるいは光波測距儀(トータルステーション、国土地理院認定1級経緯儀、Nikon社製DTM-1)により求めた距離(10回の測定の平均値)との差をもって表わしている。また、GPS測量の基線長についての精度は10mm+2.0ppm×基線長(km)、方位1sec+10/基線長(km)(水平方向)、20mm+2.0ppm×基線長(km)(鉛直方向)である¹⁵⁾。



図一 1 基線長測定の精度¹⁴⁾

ここで、基準点測量における測定の許容範囲は一級基準点測量においては、結合多角路線で水平位置の閉合差および標高の閉合差は次のように示されている¹⁶⁾。

$$\text{水平位置の閉合差} : 10 \text{ cm} + 2 \text{ cm} \sqrt{N} \sum S \quad (1)$$

$$\text{標高の閉合差} : 20 \text{ cm} + 5 \text{ cm} \sum S / \sqrt{N} \quad (2)$$

N は辺数, $\sum S$ は路線長 (km)

これらはともに、GPS 測定の精度をもって満足されることがわかる。

一方、四級水準測量についてみると、その許容範囲は往復観測値の較差で次式のように示されている¹⁷⁾。

$$\text{往復観測値の較差} : 20 \text{ mm} \sqrt{S} \quad (3)$$

S は観測距離 (片道, km 単位)

観測距離が短い場合 (観測距離が直線距離に等しくなる場合には 1.5 km 以内) を除いて、GPS 測定の精度がこれを上回る。なお、観測距離が短い場合には、作業時間も従来の水準測量の方が短くなるため、従来の方法で行う方が作業上からも適当であると考えられる。

3. 従来の変換方法

WGS-84 座標系から我が国の平面直角座標系への変換は、これまで、次の方法によっておこなわれてきた。すなわち、単独測位法による成果である緯度、経度および楕円体表面からの高さを、WGS-84 座標系と日本測地座標系間の関係 (筑波にある国土地理院の VLBI 観測点の位置をもとに計算したもの) を用いて変換して、日本測地座標系における緯度および経度を求め、それを基に我が国の平面直角座標系における座標値を求める方法である¹⁸⁾。この方法は、単独測位法を対象としており、数 m の誤差がある¹⁸⁾。

そのため、数 km 範囲の小規模な測量では、GPS により測量する測点網の中に国家基準点を取り込み、その基準点成果が与えられたものとして網平均を行い、局所的な変換モデルを作る方法が提案されている¹⁹⁾。しかし、こ

の方法では、平面座標を 10 cm 程度の精度で求めることはできるが、高さの精度は低いものになっている。

一方、標高を GPS 測量成果から高精度で求める方法として、GPS/水準法が提案されている¹⁹⁾。この方法は、多くの水準点相互の相対座標を GPS 測量によって求め、これらの水準点における標高 (水準点成果) を用いて、ジオイド面を補間し、それを基にして任意点の標高を推定する方法である¹⁹⁾。この方法は、10 km を超える範囲で有効であるが、標高を推定する基となるジオイド図を作成するには、多くの水準点において GPS 測量を行うことが求められる。

4. 変換方法の開発

(1) 基本的考え方

ここでは、数 km の範囲内での測量に限定して、測量の作業量を少なくし、GPS 測量成果をわが国の平面直角座標および標高に変換する方法について検討する。この方法では、まず、球面をもって局所的なジオイド面の補間を行い、それを基に任意点の標高を推定する。そして、三角点における測量成果である緯度・経度および推定した標高を用いて局所的な変換モデルを作成し、座標変換を行う。このとき、座標変換に要する測量を最小限とする (ただし、GPS 測量においては、精度確保のための余観測は実施する) ため、変換モデルを最小二乗法的に同定する方法ではなく、変換モデルを幾何学的条件から導く方法による。

(2) 方法

測量地域およびその近傍において、三つの一〜三等の三角点 (三角点 O, A, B) および三つの一〜三等若しくは一〜三級の水準点 (水準点 P, Q, R) を選定する。選定する三角点は、その点において GPS 測量を行うため、ある程度上空が開けていなければならない。一方、水準点はその盛りかえが容易にできるため、その点において上空が開けていなくとも、近傍に上空が開けたところがあればよい。このとき、三角点における成果としては経度、緯度およびわが国の平面直角座標系における座標値が、また水準点での成果としては標高が得られる。

選定した三角点のうちの一つ (ここでは、三角点 O とする) を基点として、その他の三角点および水準点との基線について GPS 測量を行えば、三角点 A, B および水準点 P, Q, R の三角点 O に対する相対座標 (X', Y', Z') が求まる。なお、(X', Y', Z') は WGS-84 座標系の原点を地球中心から三角点 O に平行移動したときの座標系における座標値である。この WGS-84 座標系は図一 2 に示すように地球中心を原点とし、赤道面上に XY 平面をとり X 軸をグリニッジ天文台の方向に一致さ

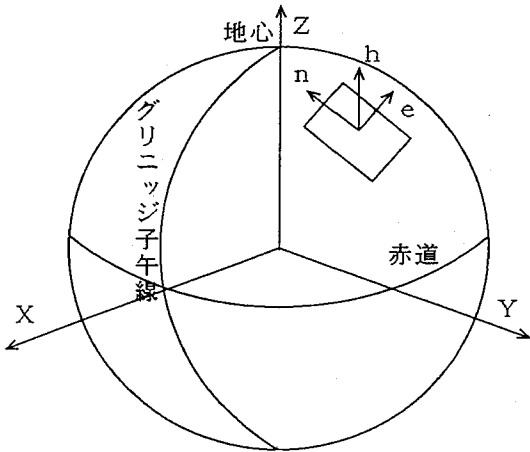


図-2 WGS-84 座標系

せ、Z 軸を北極の方向にとった直角直交座標系である。
 このとき、これらの点に関して GPS 測量で得られる三角点 O に対する相対座標、並びに三角点成果である経度、緯度および水準点成果である標高をそれぞれ次のように表わす。

GPS 測量成果 (WGS-84 座標系)

- 三角点 O (0, 0, 0)
- 三角点 A (X_a, Y_a, Z_a)
- 三角点 B (X_b, Y_b, Z_b)
- 水準点 P (X_p, Y_p, Z_p)
- 水準点 Q (X_q, Y_q, Z_q)
- 水準点 R (X_r, Y_r, Z_r)
- 三角点の経度、緯度
- 三角点 O (L_o, B_o)
- 三角点 A (L_a, B_a)
- 三角点 B (L_b, B_b)
- 水準点の標高
- 水準点 P : h_p
- 水準点 Q : h_q
- 水準点 R : h_r

このとき変換は次の手順によって行う。

a) 標高の決定

① X'Y'Z' 座標系において、一つの平面 α を設定する。

$$aX' + bY' + cZ' + 1 = 0 \quad (4)$$

このとき水準点 P, Q, R の標高を測点から平面 α への距離と考えると次式を得る。

$$h_p = \frac{|aX'_p + bY'_p + cZ'_p + 1|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (5)$$

$$h_q = \frac{|aX'_q + bY'_q + cZ'_q + 1|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (6)$$

$$h_r = \frac{|aX'_r + bY'_r + cZ'_r + 1|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (7)$$

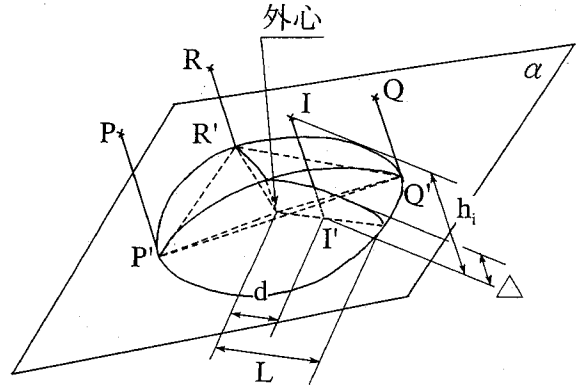


図-3 局所的なジオイド面の補間

ここで係数 a, b, c は次の非線形連立方程式を解いて求られる。

$$\begin{cases} h_p \\ h_q \\ h_r \end{cases} - \frac{1}{R} \begin{cases} 1 \\ 1 \\ 1 \end{cases} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} X'_p & Y'_p & Z'_p \\ X'_q & Y'_q & Z'_q \\ X'_r & Y'_r & Z'_r \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

式(8)において、数組の係数(a, b, c)が求められるが、水準点の標高はいずれも正であることから、次の2つの制約条件が設定でき、これを用いて一組求められる。

- ① それぞれの水準点から平面 α に垂直に向かうベクトルの方向はいずれも同じである。
- ② これらのベクトルの方向は、水準点から地球中心に向かうベクトルの方向とほぼ同じになる。(後者のベクトルの成分は、単独測位で求められる三角点 O の地球中心座標系における座標値である。)

結局、任意の測点 I (X_i, Y_i, Z_i) の平面 α からの距離 h_i は次式で求まる(ただし、(X_i, Y_i, Z_i) は、WGS-84 座標系における測点 I の三角点 O に対する相対座標)。

$$h_i = \frac{|aX'_i + bY'_i + cZ'_i + 1|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (9)$$

②ここでは、一辺 10 km 程度の比較的狭い地域で行う測量を対象にして、少数の(3つの)水準点を基準に補間できる球面(半径 6370 km)をもってジオイド面を補間する。P', Q', R' は球面と平面 α の交点となる。水準点 P, Q, R から α へ下ろした垂線の交点を P', Q', R' とする。このとき任意の測点 I (X_i, Y_i, Z_i) の補正值 Δ は次のように求まる(図-3 参照)。

$$\Delta = -(\sqrt{A'^2 - d^2} - \sqrt{A'^2 - L^2}) \quad (10)$$

A' : 地球半径 (=6370 km)

L : 三角形 P'Q'R' の外接円の半径

d : I より α へ下ろした垂線の交点 I' と

三角形 P'Q'R' の外心との距離

よって、任意の測点 I の球面からの高さ (H_i) は次式

で求まる。

$$H_i = h_i + I \quad (11)$$

$$h_i = \frac{aX_i + bY_i + cZ_i + 1}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (11)$$

b) 我が国の平面座標系への変換

次に、GPS 測量の成果から我が国の平面座標系の座標値を求める。

① a) の手順により三角点 O, A, B の標高 h_o, h_a, h_b を求めることができる。すなわち、三角点 O, A, B において三角点成果である経度、緯度に合わせて標高も求められたことになる。つぎに、これらの値を、準拠楕円体の回転軸方向を Z 軸、グリニッジ子午線と赤道面が交わる方向を x 軸、これら 2 軸と右手系をなすように y 軸をとる地心座標系に変換する。この座標系における任意点の座標値は次式によって求められる²⁰⁾。

$$x = (N + H) \cos B \cos L \quad (12)$$

$$y = (N + H) \cos B \sin L \quad (13)$$

$$z = \{N(1 - e^2) + H\} \sin B \quad (14)$$

B : 緯度, L : 経度, H : 楕円体からの高さ

$$e^2 = f(2 - f), \quad f: \text{扁平率}$$

$$N = \frac{A}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}, \quad A: \text{赤道半径}$$

A および f は、個々の準拠楕円体に対しての値であって、ベッセル楕円体では、次のように与えられる。

$$A = 6377397.155 \text{ m}, \quad f = 1/299.152813$$

この座標系において、三角点 $A(x_a, y_a, z_a), B(x_b, y_b, z_b)$ の三角点 $O(x_o, y_o, z_o)$ に対する相対座標を求め、これを (x'_a, y'_a, z'_a) および (x'_b, y'_b, z'_b) とする。このようにして、三角点 A, B では二つの座標系 (WGS-84 座標系および準拠楕円体に対する地心座標系) において三角点 O に対する 3 次元相対座標が求められる。

② 次に、三角点 O を原点として、原点と測点 A, B を含む平面を $\xi\eta$ 平面とし、原点から測点 A の方向に ξ 軸をとり、もう一軸である λ 軸を $\xi\eta$ 平面に直角にとる $\xi\eta\lambda$ 座標系を定義する。

③ $X'Y'Z'$ 座標系から $\xi\eta\lambda$ 座標系に変換する。このとき、三角点 O から三角点 A, B に向かう単位ベクトルをそれぞれ \vec{e}_A, \vec{e}_B とすると、座標変換マトリックスは次のようになる。

$$T_X = \frac{1}{p} \begin{bmatrix} pl_A \\ l_B - l_A(\vec{e}_A \cdot \vec{e}_B) \\ m_A n_B - m_B n_A \\ \\ pm_A & pn_A \\ m_B - m_A(\vec{e}_A \cdot \vec{e}_B) n_B - n_A(\vec{e}_A \cdot \vec{e}_B) \\ \\ n_A l_B - n_B l_A & l_A m_B - l_B m_A \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$p = |\vec{e}_A \times \vec{e}_B|, \quad \vec{e}_A = (l_A, m_A, n_A), \quad \vec{e}_B = (l_B, m_B, n_B)$$

④ $x'y'z'$ 座標系から $\xi\eta\lambda$ 座標系に変換する。同様に、三

角点 O から三角点 A, B に向かう単位ベクトルをそれぞれ \vec{e}_a, \vec{e}_b とすると、座標変換マトリックスはつぎのようになる。

$$T_X = \frac{1}{p} \begin{bmatrix} pl_a \\ l_b - l_a(\vec{e}_a \cdot \vec{e}_b) \\ m_a n_b - m_b n_a \\ \\ pm_a & pn_a \\ m_b - m_a(\vec{e}_a \cdot \vec{e}_b) n_b - n_a(\vec{e}_a \cdot \vec{e}_b) \\ \\ n_a l_b - n_b l_a & l_a m_b - l_b m_a \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$p = |\vec{e}_a \times \vec{e}_b|, \quad \vec{e}_a = (l_a, m_a, n_a), \quad \vec{e}_b = (l_b, m_b, n_b)$$

⑤ このとき、 $X'Y'Z'$ 座標系から $x'y'z'$ 座標系へは次式によって変換できる。

$$\begin{Bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{Bmatrix} = T_X^{-1} T_X \begin{Bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{Bmatrix} \quad (17)$$

⑥ xyz 座標系における測点 I の座標値は次のように求められる。

$$\begin{Bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ z'_i \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{Bmatrix} \quad (18)$$

⑦⑥ で求めた xyz 座標から以下に示す方法を用いて緯度 (B)、経度 (L) に変換する⁹⁾。

$$(N + H) \cos B \cos L - x = 0 \quad (19)$$

$$N = \frac{A}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}, \quad L = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)$$

上式は非線形方程式なのでニュートン・ラフソン法によって解いて、 B を求める。

⑧ B, L を用いて、平面直角座標 (X, Y) を求める (例えば、文献 21 参照)。

5. 検 証

ここで提案した GPS 測量の成果をわが国の平面直角座標系および標高へ変換する方法について検証する。ここでは、それぞれ三つの三角点および水準点に隣接する三角点および水準点を、提案する変換方法の検証に用いた。変換に用いたそれぞれ三つの三角点 (三角点 O : 三等三角点安倉, 三角点 A : 二等三角点中山, 三角点 B : 三等三角点中山寺) および三つの水準点 (水準点 P : 一等水準点 463, 水準点 Q : 一等水準点 465, 水準点 R : 二等水準点 3775) における GPS 測量の成果、並びにそれらに対する成果表の値を表-1 に、またその地域の概略図を図-4 に示す。このとき、検証に用いた隣接する三角点 (四等三角点荻野) および水準点 (一等水準点 464) における GPS 測量の成果、およびこれらの点に関する成果表の値を表-2 に示す。

なお、この GPS 測量の成果は、三角点においてはその直上に、水準点においては、近傍に設定した盛りかえ点

表-1 変換に用いた三つの三角点および水準点

三角点および水準点の名称	三角点・水準点の成果		GPS測量成果	備考
	緯度	経度	WGS-84座標系 (X, Y, Z) †	
三角点O	34° 48' 23.955"		0.000m	
三等三角点 安倉	135° 22' 35.498"		0.000m	
	50.22 m		0.000m	
三角点A	34° 50' 28.950"		2505.679m	
二等三角点 中山	135° 21' 28.820"		-92.709m	
	487.17 m		3408.167m	
三角点B	34° 49' 15.131"		1389.029m	
三等三角点 中山寺	135° 21' 49.548"		269.857m	
	173.47 m		1365.093m	
水準点P 一等水準点 463			-2424.931m	盛りかえ点の標高
	15.2265m		763.977m	15.3505m
水準点Q 一等水準点 465			-3318.848m	盛りかえ点の標高
	12.6289m		-3667.278m	13.0139m
水準点R 一等水準点 3775			-2272.379m	盛りかえ点の標高
	59.9360m		-1525.466m	58.0750m
			124.269m	
			-614.939m	
			762.853m	

注) 水準点P, Q, RのGPS測量の成果は、いずれも盛りかえ点におけるものである。

表-2 検証結果

	四等三角点 萩野	一等水準点 464
GPS測量成果 (X, Y, Z) †	490.978m -872.280m 374.942m	-3020.903m -571.259m -2568.087m
<変換によって求めた値>		盛りかえ点の標高
緯度	34° 48' 38.822"	20.926m
経度	135° 23' 13.498"	
平面座標 (X)	-131407.94m	
平面座標 (Y)	96396.57m	
標高	48.744m	20.773m
<成果表の値>		
緯度	34° 48' 38.827"	
経度	135° 23' 13.500"	
平面座標 (X)	-131407.80m	
平面座標 (Y)	96396.60m	
標高	48.03m	20.7801m

Oと三角点萩野, 三角点Oと水準点464のそれぞれの基線について相対座標を求めることを3回繰り返し、それらの平均値とした。

表から明らかなように、三角点萩野において、本変換によって求めた平面座標と三角点成果との差は

$$\sqrt{(-131407.94 - 131407.80)^2 + (96396.57 - 96396.60)^2} = 0.14(\text{m})$$

14(cm)であった。

また、本変換で求めた標高と成果表の標高の値との差は、

$$20.773 - 20.780 = 0.007(\text{m})$$

7(mm)であった。

以上に述べたように、本論文で提案する変換法を用いることによってGPS測量の成果をわが国の平面直角座標および標高に高精度でしかも同時に変換できることが検証された。

GPS測量の基線長は常に直線距離になるが、実際の測量ではすべての測点間が視準できないことが多く、辺数、および路線長あるいは観測距離が大きくなるため、一般に従来測量の許容範囲はこの値よりも大きくなる。そのため、誤差が累積しないGPS測量は、視通を遮る障害物が多い都市部のような錯綜した地域においてはより有利となる。

6. まとめ

GPSを基準点測量に適用するときには、GPS測量の成果と従来の測量成果との整合が問題となる。そこで、本研究では、WGS-84座標系に基づいて表わされるGPS測量の成果を、従来測量の成果と整合するよう我が国の平面直角座標および標高に同時に変換する方法を開

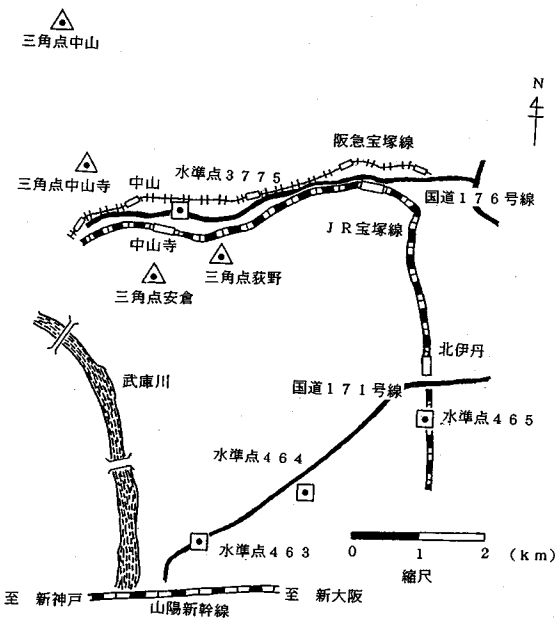


図-4 測量地域の概観

の直上にたてた三脚にアンテナを設置して測定したものである。このときの測定では、Trimble社の受信機4000 SSTを4台使い、1回目に三角点O, AおよびB, 2回目に三角点Oおよび水準点P, Q, R, 3回目に三角点O, 四等三角点および一等水準点464にそれぞれアンテナを設置した。そして、スタティック測量により、2~3時間の観測を行い、同受信機の付属ソフトを用いて解析して、1, 2回目については、それぞれ網平均を行った後、三角点Oに対する相対座標を、3回目については三角点

発した。

この方法を実測により検証した結果、良い成果を得た。

謝辞：実測にあたっては、神戸大学岩盤力学研究室の芥川真一助手並びに血海章雄、古谷茂也両君をはじめとする大学院生および学部学生に援助を頂いた。また、フジタ技術研究所和久昭正氏に計測機器について御便宜を図って頂いた。ここに関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 日本測地学会編著：新訂版 GPS ー人工衛星による精密測位システムー，日本測量協会，第1章，pp.23-47，1989年。
- 2) 加藤照之：GPS高精度測位の研究の現状，GPS測量の現況 講習会テキスト，日本測量協会，pp.65-74，1991年。
- 3) 村石公典，片野悟：船舶位置決定の為の電波局位置測量，GPS測量の現況 講習会テキスト，日本測量協会，pp.23-31，1991年。
- 4) 古堅和男，長谷川浩司：GPSと測量作業，GPS測量の現況 講習会テキスト，日本測量協会，pp.33-42，1991年。
- 5) 豊田耕三，小林敬幸：GPS測量の実施状況，GPS測量の現況 講習会テキスト，日本測量協会，pp.43-52，1991年。
- 6) 杉田要：国土地理院におけるGPS測量，GPS測量の現況 講習会テキスト，日本測量協会，pp.75-86，1991年。
- 7) 宮林秀次，岡本幸雄，遠藤英雄：山梨リニア実験線におけるGPS測量，土木施工，pp.17-26，1992年。
- 8) 櫻井春輔，清水則一，古谷茂也，血海章雄：GPSによる大型放射光施設（Spring-8）の基準点測量，土木学会第47回年次学術講演会，1992年。
- 9) 藤岡晃，和久昭正，櫻井春輔，岡野幹雄，清水則一：キネマチックGPS測量の精度について，土木学会第46回年次学術講演会概要集（第IV部門），1991年。
- 10) 佐田達典，中川良文，高田知典：GPSの出来高測量への適用，土木学会第46回年次学術講演会概要集（第VI部門），1991年。
- 11) 神崎正，西沢修一：人工衛星GPSによる土工総合管理システム，土木学会誌1991年9月号，pp.12-14，1991年。
- 12) 丸山清輝：GPS測量による地すべり移動観測，土木技術資料，34-8，pp.10-11，1992年。
- 13) 清水則一，櫻井春輔，血海章雄，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，pp.440-444，1992年。
- 14) 櫻井春輔，清水則一，血海章雄，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ー短い基線に対する測量結果ー，建設工学研究所報告第33号，pp.277-296，1991年。
- 15) TRIMVEC NAVIGATION：Model 4000 ST GPS測量機操作説明書，pp.1-4，TRIMBLE NAVIGATION Ltd.
- 16) 細野武庸，井内登：基準点測量，第5章，pp.189-214，日本測量協会，1987年。
- 17) 「現代測量学」出版委員会：現代測量学第3巻，第II編第4章，pp.305-338，日本測量協会，1987年。
- 18) 日本測地学会編著：新訂版GPS ー人工衛星による精密測量システムー，第7章，pp.169-191，日本測量協会，1989年。
- 19) 土屋淳，辻宏道：やさしいGPS測量，第5章，pp.307-324，日本測量協会，1993年。
- 20) 森澤武司郎：3次元測量，1基礎編，pp.1-26，1980年。
- 21) 森忠次：測量学1ー基礎編，第1章，4測量座標系，丸善，pp.9-13，1987年。

(1993.9.6 受付)

A COORDINATE TRANSFORMATION FROM SURVEYING TO ORDINARY SURVEYING SYSTEM

Shunsuke SAKURAI, Ikuo KAWASHIMA and Yuichi YAMANOBÉ

The results of GPS surveying are represented in terms of the WGS-84 coordinates which are different from the coordinate adopted in an ordinary surveying. Thus, when applying the GPS for a control survey, one of the most difficult issue is how to relate the results of GPS surveying to the ones represented in the ordinary coordinate system. In this paper, to overcome this difficulties, a coordinate transformation method has been proposed, which can convert the GPS surveying results represented as WGS-84 coordinate into the Tokyo Datum.