

レーザー測距儀を用いた三辺測量について*

上田 満**・長谷川 博**・松永 次生**

On the Trilateration with Laser Ranger

Mitsuru UEDA, Hiroshi HASEGAWA and Tsugio MATSUNAGA

Abstract

It is possible to measure a long distance with precision by using an electromagnetic wave. Recently the distance between the triangulation points can be directly measured with Laser Ranger.

In triangulation surveying, the advantages claimed for an electromagnetic ranger are as follows :

- (1) In a large triangulation net, the length of the base line itself can be measured without making the short base line longer by a triangulation net of the base line.
- (2) It is possible to measure all angles and distances.
- (3) Distances alone can be measured, by which the co-ordinates of the triangulation points can be determined.

The variation of ground strains can be observed by the above (2) method. The main purpose of this study is to make a comparison between the accuracy attained when each of the above three methods is applied.

1. 序論

これまで、長距離の基準点測量を行なう場合、三角測量等を行なってきたが、直接距離を測ることができず、時間はかかるし、高い精度もあまり望めなかった。しかし、現在、電磁波測距儀の発達により長距離をより早く正確に測定できるようになった。

そこで本研究班は、25kmまでを $5\text{ mm} \pm 2\text{ PPM}$ の精度で測定可能なK&E社製のレーザー・レインジャーVを使用して、工学部キャンパス内に三角点を設置するとともに、レーザー測距儀で測定した距離の精度と、三辺測量及び従来の三角測量により三角網の調整を行ない、これらの精度について比較検討を行なった。

2. 三角網の概要及び測定

三角網は Fig. 1 に示す通りであり、三角点は5点で、それぞれR (竜王山)、M (桃山)、T (高泊)、O (男

山)、K (工学部)である。また、その平均辺長は約6.7 kmで既設の三角点はR、M、Oの3点であり、T三角点は見通しの関係上、既設の三角点サイドに設けたものである。また、測距に用いるレーザー・レインジャーV及び反射鏡の写真は、Fig. 2 及び Fig. 3 に示してある。

また、測距時に気象補正で気圧を求めるのに用いる $2 \times 133.322\text{ (N/m}^2\text{)}$ 読みのアネロイド気圧計、及び気温・蒸気圧を求めるのに用いる 0.2°C 読みの乾湿計の写真を Fig. 4、Fig. 5 に示してある。

そこで三角網は Fig. 1 のように組み、各辺・各角をそれぞれ測定した。また角の測定には測機舎製の $1''$ 読みセオドライトを使用し、水平角を5対回、鉛直角を3対回それぞれ測定した。水平距離については、Repeat機能により20回測定し、気温・気圧・蒸気圧による気象補正及び投影補正を行なった。また、三角網の調整計算を行なう場合、検基線を既設の三角点であるR—M間の距離として調整を行なった。

先に述べたように、距離に関しては20回測定し、気象・投影補正を行なうのであるが、特に気象補正は大

*第38回土木学会中国・四国支部学術講演会にて発表

**工業短期大学部土木工学科

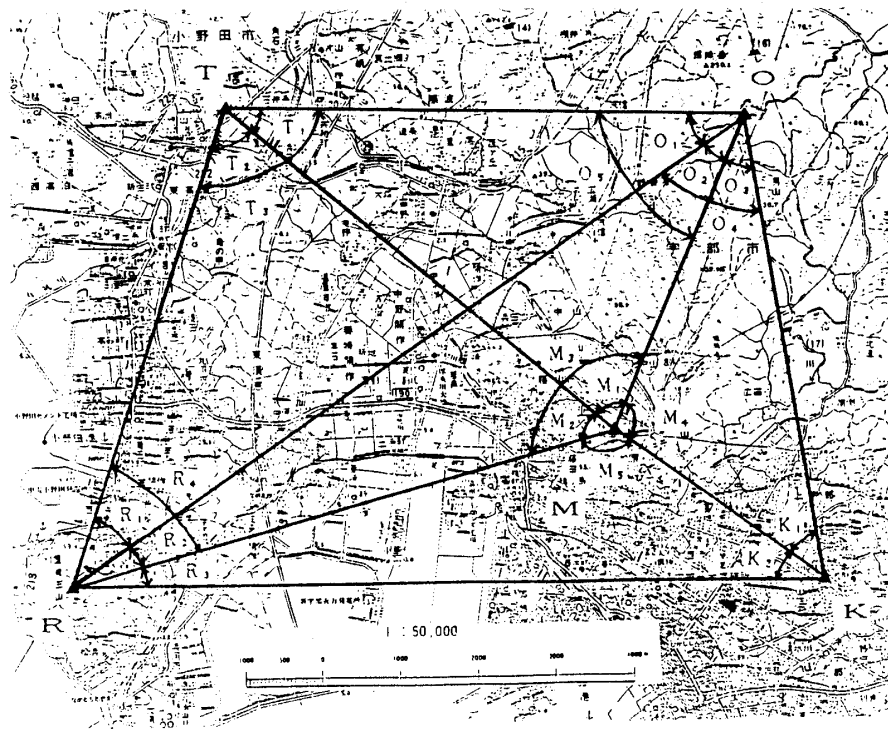


Fig.1 Map of triangulation net

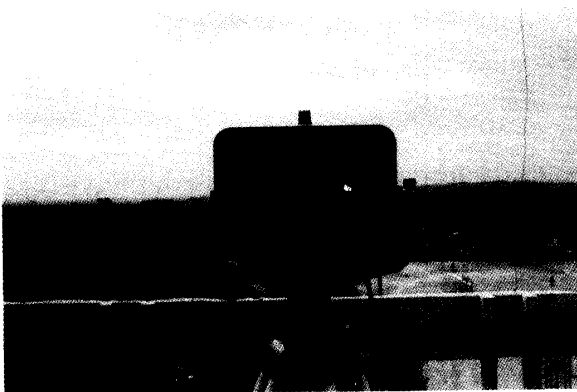


Fig.2 Picture of Laser Ranger V



Fig.3 Picture of reflecting mirror

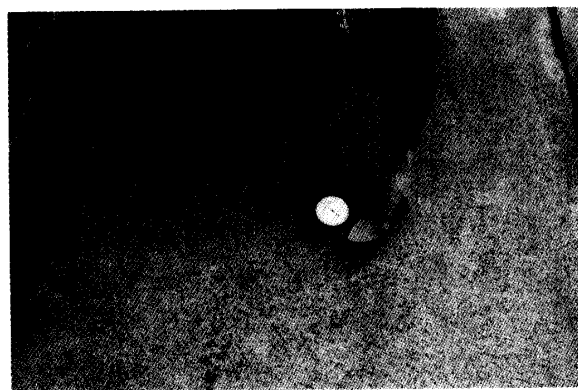


Fig.4 Picture of aneroid barometer

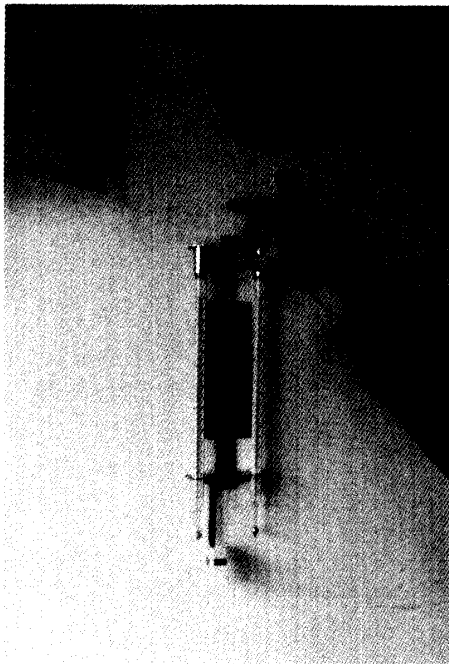


Fig.5 Picture of psychrometer

事である。¹⁾1日の温度差が大きい日を選んで同距離を1時間おきに24回測定を行なったが、距離10kmでの補正值は30~40cmであった。1日での補正值の変化が、約10℃違いで10cm程あった。気温・気圧・蒸気圧の中で、気温が大きく補正值に左右し、蒸気圧は、さほど影響を与えないことがわかる。

水平角に関しては、準楕円体上の角であるから、平面座標系での角にしななければならないので方向補正を行なった。²⁾その換算式は、

$$\Delta t_1 = T_1 - t_1$$

$$= -(X_1 - X_2)(2Y_1 + Y_2) / \{6 \times (m_0 \times \bar{R}_m)^2\}$$

$$\{1 - (2Y_1 + Y_2)^2 / \{27 \times (m_0 \times \bar{R}_m)^2\}\}$$

$$\Delta t_2 = T_2 - t_2$$

$$= (X_1 - X_2)(Y_1 + 2Y_2) / \{6 \times (m_0 \times \bar{R}_m)^2\}$$

$$\{1 - (Y_1 + 2Y_2)^2 / \{27 \times (m_0 \times \bar{R}_m)^2\}\}$$

但し、 X_1, X_2, Y_1, Y_2 : 座標

m_0 : 0.9999 (座標原点の縮尺係数)

\bar{R}_m : 両点の平均緯度に対応する平均曲率半径で求まる。

以上の計算の結果、各角に対する補正值は±0.5~2.5秒であった。

そこで、測定距離及び測定角の各々の平均値に対する標準偏差で示すと、測定距離の場合は、 $2.0 \sim 4.0 \times 10^{-3}$ (m)であり、水平角に関しては3~6秒であった。又、工学部・高泊の標高は、既知点であるR, M, Oの3点から鉛直角を測り、レーザー測距儀により求め

られた距離を使用して求点の標高を求めた。

3. 水平距離への換算と精度

3.1 水平距離への換算

レーザー測距儀を用いて、水平距離を求める場合

(i) 測定に対する気象補正

(ii) 投影補正

を行なう必要がある。³⁾

(i) 気象補正

光波測距儀が採用している波長における標準屈折率をn, 測定距離をD'とすると、

$$D = (n_s / n) D'$$

$$= D' + D'(\Delta s - \Delta n) \dots\dots (3, 1)$$

で表わされる。

$n_s = 1 + \Delta s$: 光波測距儀の採用している標準屈折率

$n = 1 + \Delta n$: 測定時における大気の屈折率³⁾

また Δn は

$$n - 1 = \Delta n$$

$$= \{(n_g - 1) / (1 + t / 273.2)\} (P / 760) -$$

$$\{15.02e / (273.2 + t)\} \times 10^{-6}$$

..... (3, 2)

n_g は群速度に対する屈折率で、波長 λ の関数で与えられる。

$$n_g - 1 = \{287.604 + 3 \times 1.6288 / \lambda^2 + 5 \times$$

$$0.0136 / \lambda^4\} \times 10^{-6} \dots\dots (3, 3)$$

ここで、

P: 平均大気圧 (133.322N/m²)

t: 平均気温 (°C)

e: 平均水蒸気圧 (133.322N/m²)

λ : 光波長(μ) (Ne-He ガスレーザー0.63282

μ)

そこで、本研究班の使用しているレーザー・レインジャーの場合の気象補正式は、

$$K_1 = (\Delta s - \Delta n) D'$$

$$= \{310.0 - 107.925 \times P / (t + 273.2) + 15.02$$

$$e / (t + 273.2)\} D' \times 10^{-6} \dots\dots (3, 4)$$

となる。

(ii) 投影補正

(i)の補正後は、水平距離にもどす投影補正を行なう。水平距離への換算式は以下のようにして求まる。

$$S = D \cos \alpha m (1 - Hm/R) \dots\dots (3, 5)$$

但し、

Hm: 平均標高, αm : 平均鉛直角

R: 地球の平均曲率半径

ここでSは、基準面上の球面距離であるから、これを水平距離に直すには、縮尺係数をK2とすると、

$$s = S \times K2 \dots\dots (3, 6)$$

で求められる。

但し、縮尺係数は、

$$K2 = s/S$$

$$= m_0 \{ 1 + (y_1^2 + y_1 \times y_2 \times y_3) / (6 \times R_0^2 \times m_0^2) \}$$

$m_0 = 0.9999$: 座標原点の縮尺係数

$R_0 = 6370.770\text{km}$: 座標原点 (36°) 平均曲率半径

y_i : i 三角点のY座標 (近似値)

3.2 水平距離の精度

測定距離を水平距離にする投影補正の換算式は、式(3, 5)で表わされる。そこで、D, α_m , Hmに誤差があると考えられるので、誤差伝播の法則より

$$\xi_s^2 = (\delta S / \delta D)^2 m_D^2 + (\delta S / \delta \alpha_m)^2 m_{\alpha_m}^2 + (\delta S / \delta Hm)^2 m_{Hm}^2$$

$$= \{ \cos \alpha_m (1 - Hm/R) \}^2 m_D^2 + \{ -D \sin \alpha_m (1 - Hm/R) \}^2 m_{\alpha_m}^2 + \{ D \cos \alpha_m (-1/R) \}^2 m_{Hm}^2 \dots\dots (3, 7)$$

(i) 斜距離Dにおける誤差 m_D

電磁波測距儀による測定から得られる距離Dは、電子回路による定数及び大気中の屈折率も考慮すると、

$$D = (C_0/n) (1/2 f) (N + \phi/2\pi) + K \dots\dots (3, 8)$$

となる。

ここで考えられる誤差は、

(A) 屈折率nの誤差が測定距離に及ぼす影響 m_n

(B) 器械定数誤差 m_K

(C) 位相差分解能 m_ϕ

が考えられ、 m_D は誤差伝播の法則より

$$m_D^2 = (m_n/n)^2 D^2 + \{ (\lambda/2) (1/2\pi) \}^2 m_\phi^2 + m_K^2 \dots\dots (3, 9)$$

となる。

(a) 屈折率による誤差 m_n

屈折率は(3, 2), (3, 3)より求まる。屈折率nには、光波長(Ne-Heガスレーザー 0.63282 μ), 気圧, 気温, 水蒸気圧に誤差があると考え、

$$m_n^2 = 0.3 \times 10^{-4} m_\lambda^2 + 1.0 m_t^2 + 0.16 m_p^2 + 0.28 \times 10^{-2} m_e^2$$

$$= 8.0 \times 10^{-13} \dots\dots (3, 10)$$

m_n は、 10^{-6} の単位をとる。

$$m_\lambda : 63.282 (\text{\AA})$$

$$m_t : 0.2 (\text{°C}) \quad 0.2\text{°C 読み乾湿計}$$

$$m_p : 2.0 \times 133.322 (\text{N/m}^2) \quad 2.0 \times 133.322 (\text{N/m}^2) \text{ 読み気圧計}$$

$$m_e : 0.17 \times 133.322 (\text{N/m}^2) \quad 0.2\text{°C 読み乾湿計}$$

となる。

(b) 器械定数誤差 m_K

器械定数誤差は(3, 8)における定数Kで表わされる。また実測定の場合の器械及び反射鏡の設置誤差をそれぞれ $\pm 1\text{mm}$, 又器械自身の定数誤差を $\pm 2\text{mm}$ と考えると、総合誤差は $\pm 2.4\text{mm}$ となり

$$\text{器械定数誤差 } (m_K)^2 = 5.76 \times 10^{-6} \dots\dots (3, 11)$$

(c) 位相差分解能による誤差 m_ϕ

ここでの λ は、変調波長であるから、変調周波数f : 15MHz, 光速 C_0 : = 299792.5km/sより

$$\lambda = C_0 / f = 299792.5 / 15 \times 10^6 = 20\text{m}$$

となる。

ここで m_ϕ の誤差は通常の場合5~20mmなので、調整ずみのことも考えて5mmとすると、

$$\{ (\lambda/2) (1/2\pi) \}^2 m_\phi^2 = 6.3326 \times 10^{-5} \dots\dots (3, 12)$$

(3, 10), (3, 11), (3, 12)を(3, 9)に代入すると、斜距離における誤差が求まる。

(ii) 鉛直角 α_m における誤差 m_{α_m}

Table1 The relations between accuracy of all base lines and Vertical angles

Distance	Vertical angle	Accuracy
6482.959	18' 56.2"	1/630,600
7283.364	28' 35.6"	1/664,500
10404.927	29' 10.1"	1/788,800
9609.765	31' 39.0"	1/756,500
3199.541	33' 11.9"	1/358,800
6380.200	51' 51.8"	1/574,300
6599.473	1° 36' 23.2"	1/486,000
5872.434	1° 43' 53.4"	1/449,500
4216.650	1° 58' 53.8"	1/365,300

鉛直角をそれぞれ3対回測定し、そのばらつきが10秒以内であったので、誤差を10"とする。

(iii) 標高 H_m における誤差 m_{hm}

標高は、三角水準測量の結果を用いるから、10cm程度の誤差が生じる。

以上(i), (ii), (iii), を(3, 7)に代入すると、水平距離に関する誤差が求まる。それを精度に表わしたのがTable 1である。これは、鉛直角の小さい方から並べており、この表でいえることは、長距離になるほど精度がよくなることである。また各距離の差が小さい所(距離:5000~6000m代)に注目すると、鉛直角が小さい程、精度がよくなることがわかる。

4. 三角測量

以上のようにして求められた水平距離及び水平角により三角網の調整を行なうわけである。

まず三角測量においては、各辺及び各角のうち、一辺と水平角すべてを使用して、三角網の調整を行ない検査線との誤差について検討してみることにする。例えば、基線をOK間の距離とした場合についての条件式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \text{角条件式: } & K_1 + O_3 + M_4 - 180^\circ = 0 \\ & R_3 + K_2 + M_5 - 180^\circ = 0 \\ & O_2 + M_1 - T_2 - R_1 = 0 \\ & O_1 + T_1 - M_2 - R_2 = 0 \\ & O_1 + T_3 + R_1 + R_2 + R_3 + K_2 \\ & + K_1 + O_4 - 360^\circ = 0 \end{aligned} \right\} (4, 1)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{測点条件式: } & O_4 - O_2 - O_3 = 0 \\ & M_3 - M_1 - M_2 = 0 \\ & T_3 - T_1 - T_2 = 0 \\ & M_3 + M_4 + M_5 - 360^\circ = 0 \end{aligned} \right\} (4, 2)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{辺条件式: } & (\sin R_2 \times \sin M_1 \times \sin T_2 \\ & \times \sin O_1) / (\sin O_2 \times \sin T_1 \times \sin \\ & M_2 \times \sin R_1) = 1 \\ & (\sin R_3 \times \sin K_1 \times \sin O_2) / \\ & (\sin K_2 \cdot \sin O_3 \times \sin R_2) = 1 \\ & (D_4 \times \sin M_2 \times \sin R_1 \times \sin \\ & T_1 \times \sin M_4) / (D_1 \times \sin O_1 \times \sin \\ & T_2 \times \sin M_1 \times \sin K_1) = 1 \end{aligned} \right\} (4, 3)$$

この(4, 1)~(4, 3)のそれぞれ12個の条件式を同時に満足させるために、ガウスの未定係数式を使用して各角を補正した後における値がTable 2に、また、その補正值によって計算した各辺長がTable 3にそれぞれ示されている。

Table2 Corrected angle which is obtained by triangulation

	°	'	"		°	'	"
M ₁	72	42	4.2	R ₃	15	5	11.8
M ₂	54	50	55.2	T ₁	37	35	39.2
M ₃	127	32	59.3	T ₂	68	58	9.1
M ₄	103	52	14.6	T ₃	106	33	48.3
M ₅	128	34	46.1	O ₁	35	59	46.7
K ₁	44	11	43.7	O ₂	33	42	29.9
K ₂	36	20	2.2	O ₃	31	56	1.7
R ₁	37	26	25.0	O ₄	65	38	31.6
R ₂	18	44	30.7				

Table3 Distances of triangulation points

	Distance
D ₁	5872.434
D ₂	3199.460
D ₃	9609.538
D ₄	7283.150
D ₅	6379.934
D ₆	6599.216
D ₇	6482.752
D ₈	4216.686
D ₉	10404.715

5. 三辺測量

測定した各辺のみを使用して三角網の調整を行なうのが三辺測量であって、この場合は、測定辺の補正を行なうことになる。その際必要となる基本式はFig 1を参照して以下のものであり、これによって計算された角の間に成立する条件式を求め、それらの条件式を満足するように各辺長の補正を行なえばよい。

即ち,

$$\left. \begin{aligned} \cos R_1 &= (D_5^2 + D_3^2 - D_1^2) / (2 \times D_5 \times D_3) \\ \cos R_2 &= (D_4^2 + D_3^2 - D_2^2) / (2 \times D_4 \times D_3) \\ \cos R_4 &= (D_5^2 + D_4^2 - D_2^2) / (2 \times D_5 \times D_4) \\ \cos M_1 &= (D_8^2 + D_7^2 - D_1^2) / (2 \times D_8 \times D_7) \\ \cos M_2 &= (D_4^2 + D_7^2 - D_2^2) / (2 \times D_4 \times D_7) \\ \cos M_4 &= (D_8^2 + D_2^2 - D_1^2) / (2 \times D_8 \times D_2) \\ \cos M_5 &= (D_2^2 + D_4^2 - D_3^2) / (2 \times D_2 \times D_4) \end{aligned} \right\} (5, 1)$$

とすれば,

$$R_4 - R_1 - R_2 = 0, \quad M_1 + M_2 + M_4 + M_5 - 360^\circ = 0 \quad \dots (5, 2)$$

となる. 式 (5, 1) を式 (5, 2) に代入すると, 辺長に関する非線形の条件式となる. 従って, 残差 $V_1, V_2, V_3 \dots$ 等を用いて, $D_1 = l_1 - V_1, D_2 = l_2 - V_2, D_3 = l_3 - V_3 \dots$ 等を用いて線形の式に直せば以下になる.

$$\begin{aligned} & (V_6/l_5) \operatorname{cosec} T_3 + (V_5/l_5) (\cot T_2 - \cot T_3) + (V_4/l_4) (\cot M_2 - \cot M_3) - (V_9/l_9) \\ & (\cot O_1 + \cot O_2) - (V_7/l_5) \operatorname{cosec} T_2 + (V_8/l_4) \operatorname{cosec} M_3 + w_1 = 0 \quad \dots (5, 3) \\ & - (V_6/l_1) \operatorname{cosec} O_5 - (V_1/l_2) \operatorname{cosec} K_1 - (V_5/l_7) \operatorname{cosec} T_2 - (V_3/l_2) \operatorname{cosec} K_2 + (V_2/l_2) \\ & (\cot K_1 + \cot K_2) + (V_4/l_4) (\cot R_3 + \cot R_4) + (V_7/l_7) (\cot T_1 + \cot T_2) + (V_8/l_8) (\cot O_5 + \cot O_3) + w_2 = 0 \quad \dots (5, 4) \end{aligned}$$

但し, l_1, l_2, \dots 等は, 各測辺長である. また, $w_1 = R_4 - R_1 - R_2, w_2 = M_1 + M_2 + M_4 + M_5 - 360^\circ$ である. この (5, 3), (5, 4) 両式を同時に満足させるためにガウスの未定係数式を用いて, V_1, V_2, V_3, \dots 等を求め各辺の補正を行なった. $R_1, R_2, R_3 \dots$ 等は観測辺長 l_1, l_2, l_3, \dots 等により計算した角度である. 以上によって求められた水平角は Table 4, また補正距離は Table 5 である.

6. 成果表作製

最後に工学部の座標及び経緯度等の計算をして, 成果表を作るのであるが, そのためには R, M 両三角点の成果表に於ける座標及び経緯度等の値を基に計算して, その最確値を求めることになる.

(i) 座標計算

まず座標計算は, 基線を $R-M$ 間とする. 三辺測量による三角網の調整を行なった結果, 即ち, Table 4, Table 5 を用いて座標計算を行なった. その計算式は, 以下になる.

Table 4 Angles which were calculated by trilateration

	°	'	"		°	'	"
M ₁	72	42	8.9	R ₃	15	5	12.4
M ₂	54	51	0.5	T ₁	37	35	34.7
M ₃	127	33	8.9	T ₂	68	58	1.2
M ₄	103	52	1.9	T ₃	106	33	35.5
M ₅	128	34	48.7	O ₁	35	59	53.2
K ₁	44	11	48.5	O ₂	33	42	23.8
K ₂	36	19	58.9	O ₃	31	56	9.6
R ₁	37	26	31.3	O ₄	65	38	33.3
R ₂	18	44	27.3				

Table 5 Corrected distances

	Distance
D ₁	5872.404
D ₂	3199.591
D ₃	9609.730
D ₄	7283.213
D ₅	6380.201
D ₆	6599.474
D ₇	6482.958
D ₈	4216.701
D ₉	10404.896

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 + S \cos T \\ y_2 &= y_1 + S \sin T \end{aligned} \right\} \dots (6, 1)$$

ここで,

S : 平面距離, T : 方向角

x_1, y_1 : 与点の座標値, x_2, y_2 : 求点の座標値
ここで用いられる方向角は既設の三角点である $R-M$ 間の平均方向角 (成果表記載) を基に補正角を加減して求めたものである.

(ii) 経緯度計算

経緯度においては, 準拠楕円体上における距離と方

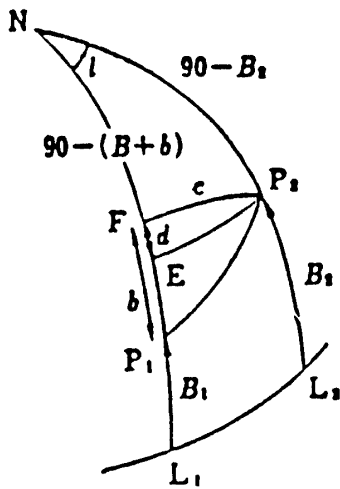


Fig. 6 Relation of b, d, l

位角を用いなければならない。そこで与点の経度、経度を (B_1, L_1) 、求点の緯度、経度を (B_2, L_2) 、とすると、

$$B_2 = B_1 + b'' - d'', L_2 = L_1 + l'' \dots (6, 2)$$

となる。

ここに用いられる b'', d'', l'' は Fig. 6 に示す通りで、この上式に含まれる b'', d'', l'' が求まれば緯度、経度が求まる。

$$b'' = (\rho''/R) S \cos J_1$$

$$\therefore R = \{a(1 - e^2)\} / \{1 - e^2 \sin^2(B_1 + b/2)\}^{3/2}$$

R : (子午線曲率半径)

R は、 $(B_1 + b/2)$ の緯度に対応しなければならないので、 b を以下のようにして求める。

$$b = \{ \rho'' \times S \cos J_1 \times W_1 / \{ a(1 - e^2) \} \} \{ 1 - (3/4)e^2 \sin^2 B_1 \times W_1 / \{ a(1 - e^2) \} \times S \cos J_1 \}$$

$$\therefore e^2 = 0.006674 \quad (e : \text{離心率})$$

$$W_1 = (1 - e^2 \sin^2 B_1)^{1/2}$$

また、

$$c'' = (\rho''/N_1) S \sin J_1$$

$$\therefore N_1 = a / (1 - e^2 \sin^2 B_1)^{1/2} = a / W_1 \quad (N_1 : \text{卯酉線曲率半径})$$

$$t'' = c'' \times \cos(B_1 + b)$$

$$l'' = \{ c'' / \cos(B_1 + b) \} \{ 1 - t''/3 \}$$

ここでの t はラジアン単位である。

$$d'' = \{ N_1 / (2 R_1 \times \rho'') \} c'' \times t''$$

R_1 は緯度 B_1 での子午線曲率半径

以上により求めた b'', d'', l'' を (6, 2) に代入すると B_2, L_2 が求まる。また、以上の値より、真北

方向角 r_2 も

$$r_2 = r_1 - t''$$

で求まる。

求点の縮尺係数は

$$K = m_0 \{ 1 + 3 Y^2 / (6 m_0^2 \times R_0^2) \}$$

$\therefore Y$: 求点の Y 座標

で求まる。

以上の事より、工学部の成果表を作製したのが Table 6 である。

Table 6 Obtained table of the Faculty of Engineering triangulation point

The coordinate system	III	The Faculty of Engineering triangulation point	
		B = 33 57 12.732	X = -226 629.64
		L = 131 16 27.724	Y = - 82 462.88
		Scale factor = 0.999984	H = 46.853
Collimation point	Adjusted grid azimuth	Plane distance	Spherical distance
Grid azimuth of meridians	0° 29' 54.9"	m	m
RYUOUZAN	270° 18' 30.4"	9609.730	9609.788
MOMOYAMA	306° 38' 31.3"	3199.591	3199.638
OTOKOYAMA	350° 50' 19.8"	5872.404	5872.492

7. 両測量の精度の比較

1"読みセオドライトと 5 mm ± 2 PPM の精度で測定可能な測距儀では、長辺の三角測量においては、測距の精度の方がよいと考えられる。これによる精度の比較を行なうために、検査線 D_4 (R-M間) との相対精度を比較すると、三角測量では基線を D_1 (O-K間) とすると、その相対精度は 1/15,700 で、三辺測量では 1/36,500 であった。ここで精度が悪いのは、R-M間の距離を三角点の成果表から算出した値を用いるからであり、直接測定の距離を用いると一桁精度が上がる。また、基線三角網で拡大することによる基線の精度の減少については、 D_2 (M-K間) を基線とし、 D_3 (R-O間) を求める基線三角網での精度は 1/15,900 で、レーザー測距儀で直接 D_3 (R-O間) を測定すると 1/788,800 であった。さらに、三角網は正三角形に組む方がよいと理論的にも証明されているが、この場合については Table 7 に示されている。

Table7 Error of closure in triangle

Tri-angle	Defferential of maximum angle and minimum angle	Error
KMR	113° 29' 30.5"	6.0"
OMR	108° 48' 31.9"	10.8"
OMK	71° 56' 10.5"	-0.8"
O T R	70° 33' 59.2"	1.3"
O T M	35° 6' 32.5"	1.1"
T R M	14° 7' 18.0"	3.0"

上述でも分かるように、三辺測量による測量の方がより精度よく基準点測量が可能と思われる。また、外業に関しては、三角網が大きく、また複雑になれば、測定辺より測定角の数が多くなる。また、距離・角の測定のみ観測を取り上げて分かるように、測距の場合は、目標点に設置すれば、器械の Repeat 機能により

自動的に測定してくれるし、測定時間も5分位であった。測角の場合は、正位・反位それぞれ5対回測定し、測定時間も30~40分位であった。また、精度においても、上述でも分かるように測距の方が測角よりも精度が高いし、時間自体も短い。又、器械操作の方も簡単である。気象条件についても同様に距離は視準さえできればいいが、角の場合は、長距離になればガスの関係で測定中に視準できなくなることが数多くあった。人手の方も測角よりも少なくすむ。このような事から、レーザー測距儀を用いた三辺測量の方が効率的であることがわかる。しかしながら、器械自体が高価であることがネックであろう。

参考文献

- 1) 中堀義郎, 菅野静男: 測地学会誌 第31巻第3号
- 2) 森忠次: 測量学2 応用編
- 3) 日本測量協会: 現代測量学3 一般測量
(昭和61年10月15日受理)