

1 序

従来の三角測量は、低価格で軽重量の光波測距儀が普及し、また三辺測量の時間的および精度的な有効性が示されるに従い、今日では三辺測量に代わられつつあると思われる。しかし、光波測距儀により得られる測定値は斜距離であり、一般的には鉛直角観測により水平距離に換算されることを考慮すると、水平距離には器械および気象誤差(主に屈折率による)以外にも角(鉛直角)誤差も含まれているはずであるから、厳密に三辺網を調整するためには新たに角誤差をも考慮した重み方法が必要であると考える。

そこで、本報告では4つの重み方法を考え、採用する重み方法と座標の精度との関連性を10000ケースの地形モデルについて検討した結果を報告する。

2 角誤差を考慮した水平距離の分散

地球の曲率を考慮しない場合の水平距離 S は $S=M \cdot \cos \theta$ であるから、距離および角誤差を考慮した水平距離の分散 σ_s^2 は次式となる。

$$\sigma_s^2 = \sigma_M^2 \cdot \cos^2 \theta + \sigma_\theta^2 \cdot M^2 \cdot \sin^2 \theta \quad (1)$$

σ_M : 斜距離の標準偏差(m), M : 斜距離の測定値(m)

σ_θ : 鉛直角の標準偏差(rad), θ : 鉛直角の測定値

一方、測距の標準偏差 σ_M は最大測距範囲約2.5Km程度までの光波測距儀に与えられている値として最も一般的である $a=0.005$ (cm)および $b=5 \times 10^{-6}$ の各値を用いて次式より算出されるものとする。

$$\sigma_M = \pm(a + b \cdot M) \quad (2)$$

また、性能別に1級(1"読み), 2級(10"読み), および3級(20"読み)と分類される各級のトランシットに対する視準誤差(α), 読み取り誤差(β)の各値は $\alpha = \pm 2.7''$ (1, 2, 3級), および $\beta = \pm 1.4''$ (1級), $\pm 5.6''$ (2級)および $\pm 9.8''$ (3級)と推定され、本報告では、これらの各推定値と式(3)とより各級のトランシットを1対回使用した場合の測角精度は、それぞれ $2'', 5''$ および $10''$ と仮定して計算を行なう。

$$\sigma_\theta = \pm \sqrt{\frac{1}{2}(\alpha^2 + \beta^2)} \quad (3)$$

3 測角誤差が水平距離に及ぼす影響

3通りの測角精度について式(1)より得られる次式

$$\frac{\sigma_s/S}{\sigma_M/M} = \pm \sqrt{1 + \left(\sigma_\theta^* \cdot \frac{M}{\sigma_M} \cdot \tan \theta\right)^2} \quad (4)$$

により、水平距離と斜距離との相対精度を検討した結果が図-1である。

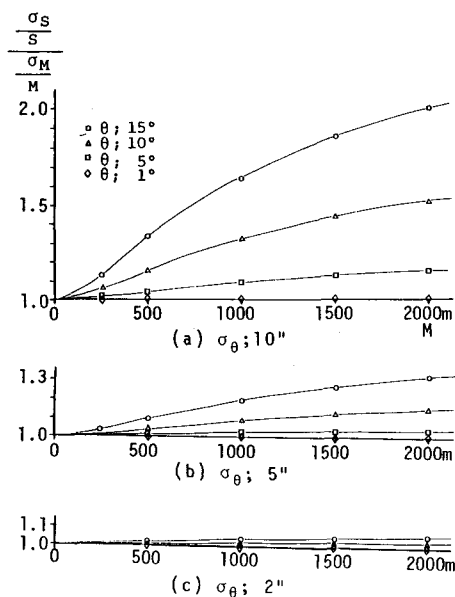


Fig.1 Relative accuracy between horizontal and slope distance

4 地形モデルおよび調整計算

本報告で調整の対象とする三辺網は図-2に示す通りであり、点AおよびBは座標既知点, C, DおよびE点は未知点とする。計算を行なうにあたり、まず各座標、水平距離および鉛直角の各最確値は図形の幾何

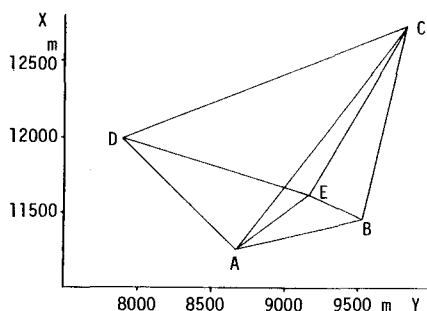


Fig.2 Model of trilateration nets

学的条件が満足されるように定められた値とし、測定距離の最確値は水平距離および鉛直角の各最確値から逆算される値とする。

次に、使用するトランシットの性能に応じて正規乱数を80000個発生させる。同様に各辺長に対して式(2)より算出される測距の精度に対して80000個の正規乱数を発生させ、各最確値にこれらの各乱数を加算した値を測定角および測定距離とし、トランシットの性能により分類される3通りの各場合に対して、それぞれ得られる10000個の地形モデルについて調整計算を行なう。また、仮座標の値は先に求めた座標の最確値の少数点以下1位に丸めた値である。

なお、任意のモデルを表-1に示す。また、既知点および未知点の座標を表-2に示す。

調整は点Dの標高を基準とする平面上で座標調整法により行ない、採用する重み方法は各トランシットを使用する場合についてそれぞれ次の4通りとする。

- 各測定距離に対する重みをすべて等しいとする。
- 各測定距離に反比例する量を重みとする。
- 式(2)より算出される各測定距離の分散に反比例する量を重みとする。
- 角誤差をも考慮した式(i)の σ_s^2 に反比例する量を重みとする。

10000個のモデルを使用した場合の座標精度を表-3に示す。表-4は表-1の測定値を用いた結果であり、精度は最確値に対する標準偏差の推定値である。

5 結論

表-3,4より、座標の精度は異なる性能のトランシットを使用する場合であり、各場合において(iiv)の重み方法を用いて三辺網の調整を行なった場合に最も良い結果を示す。さらに、測距と測角との精度の釣り合いが保たれた場合(2)に限り(ii),(iii)および(iiv)の各方法を用いて調整された各座標の精度はほぼ等しいことが確かめられる。また、釣り合い条件が保たれた場合を除くと、(ii)および(iii)の各方法を用いて調整された各座標の精度は(iiv)の方法を用いた場合より悪いもののトランシットの性能とは無関係にほぼ同程度であることが確かめられ、従来の(ii)の方法に代わって便宜的に(iiv)の方法を用いること自体は結果的に妥当であると理解される。

Table 1. Model distances and angles

NO.	Line	Measured distance (m)	Measured vertical angle	
			First-order transit	Second-order transit
1	DA	1085.127	7 57 19.5	7 57 25
2	DE	1327.994	3 4 34.5	3 4 40
3	DC	2080.875	- 4 0 59.5	- 4 1 5
4	CA	1897.942	8 58 9.5	8 58 5
5	CE	1317.488	9 28 50.0	9 28 55
6	CB	1326.616	8 27 54.5	8 28 0
7	EA	612.486	7 24 10.0	7 24 5
8	EB	396.696	- 3 8 14.5	- 3 8 10

Table 2. Given and provisional coordinates

Point	X-coordinate (m)	Y-coordinate (m)
A	11253.270	8673.810
B	11453.279	9524.206
C	12729.500	9829.400
D	11968.800	7890.200
E	11614.200	9162.300

Table 3. Accuracy of coordinates

Point	Accuracy	Weighting system			
		(i)	(ii)	(iii)	(iv)
C	S_x	$\pm 0.0212^m$	$\pm 0.0208^m$	$\pm 0.0208^m$	$\pm 0.0207^m$
		0.0177	0.0174	0.0174	0.0174
		0.0164	0.0163	0.0163	0.0163
D	S_y	0.0389	0.0367	0.0367	0.0362
		0.0322	0.0309	0.0310	0.0308
		0.0295	0.0289	0.0289	0.0289
E	S_z	0.0316	0.0296	0.0295	0.0293
		0.0262	0.0249	0.0249	0.0249
		0.0242	0.0234	0.0234	0.0234
D	S_y	0.0212	0.0191	0.0190	0.0187
		0.0178	0.0167	0.0167	0.0166
		0.0169	0.0162	0.0162	0.0162
E	S_x	0.0125	0.0103	0.0103	0.0101
		0.0106	0.0092	0.0092	0.0091
		0.0100	0.0092	0.0092	0.0091
E	S_y	0.0077	0.0063	0.0063	0.0063
		0.0068	0.0060	0.0060	0.0060
		0.0065	0.0059	0.0059	0.0059

upper line ; σ_s is 10"
middle line ; σ_s is 5"
lower line ; σ_s is 2"

Table 4. Accuracy of coordinates

Point	Accuracy	Weighting system			
		(i)	(ii)	(iii)	(iv)
C	S_x	$\pm 0.067^m$	$\pm 0.064^m$	$\pm 0.062^m$	$\pm 0.060^m$
		0.058	0.055	0.054	0.053
		0.051	0.049	0.048	0.047
D	S_y	0.114	0.112	0.111	0.106
		0.099	0.097	0.096	0.095
		0.087	0.086	0.085	0.085
E	S_z	0.098	0.094	0.093	0.088
		0.085	0.082	0.081	0.079
		0.075	0.072	0.071	0.071
D	S_y	0.066	0.062	0.062	0.055
		0.057	0.054	0.054	0.052
		0.050	0.048	0.047	0.047
E	S_x	0.046	0.034	0.034	0.031
		0.040	0.030	0.030	0.029
		0.035	0.026	0.026	0.026
E	S_y	0.035	0.022	0.023	0.019
		0.031	0.019	0.020	0.019
		0.027	0.017	0.017	0.017

upper line ; σ_s is 10"
middle line ; σ_s is 5"
lower line ; σ_s is 2"