

別記 計算式

1. 距離の計算(光波測距儀の場合)

(1) 光波測距儀の気象補正計算

$$D = D_s \frac{n_s}{n} = D_s + (\Delta_s - \Delta_n) \cdot D_s$$

$n_s = 1 + \Delta_s$: 光波測距儀が採用している標準屈折率

$n = 1 + \Delta_n$: 気象観測から得られた屈折率

$$\Delta_n = \alpha \cdot \frac{P}{273.15 + t} - E$$

$$\alpha = \frac{273.15}{1013.25} (n_g - 1)$$

$$n_g - 1 = \left(287.6155 + \frac{4.88660}{\lambda^2} + \frac{0.0680}{\lambda^4} \right) \times 10^{-6}$$

$E = 0.6 \times 10^{-6}$ ……乾球温度 18℃、相対湿度 70% の場合
ただし、

D : 気象補正済みの距離 (m)

D_s : 気象補正をしていない距離 (m)

P : 観測した気圧 (hPa)

t : 観測した気温 (℃)

n_g : 群速度に対する屈折率

λ : 光波の実効波長 (μm)

とする。

(2) 基準面上の距離の計算

$$S = D \cos\left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right) \frac{R}{R + \left(\frac{H_1 + H_2}{2}\right) + N_g}$$

ただし、

S : 基準面上の距離 (m)

D : 測定距離 (m)

H_1 : 測点 1 の標高 (概算値) + 測距儀の器械高 (m)

H_2 : 測点 2 の標高 (概算値) + 測距儀の器械高 (m)

α_1 : 測点 1 から測点 2 に対する高低角

α_2 : 測点 2 から測点 1 に対する高低角

R : 平均曲率半径 (m) ($R = 6,370,000$)

N_g : ジオイド高 (既知点のジオイド高を平均した値)

(3) 距離計算に必要な高低角の補正量を求める計算

$$\alpha_i' = \alpha_i + d\alpha_i$$

ただし、

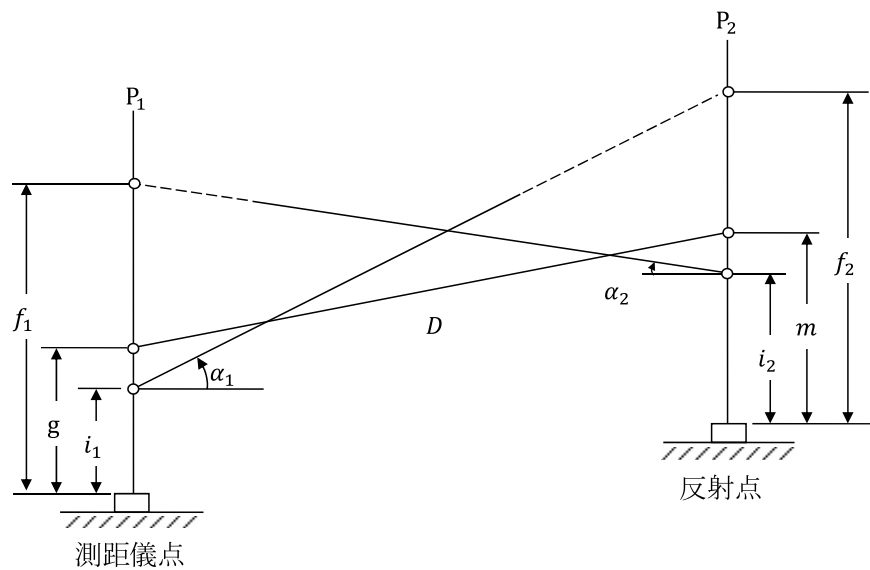
α_i' : 補正済みの高低角 ($i = 1, 2$ 以下同じ)

α_i : 観測した高低角

$d\alpha_i$: 高低角に対する補正量

$$d\alpha_1 = \sin^{-1} \left\{ \frac{(m - f_2 + i_1 - g) \cos \alpha_1}{D} \right\}$$

$$d\alpha_2 = \sin^{-1} \left\{ \frac{(g - f_1 + i_2 - m) \cos \alpha_2}{D} \right\}$$



P_1 : 測距の器械点

P_2 : 反射点

g : 測距儀の器械高

m : 反射鏡高

i_i : セオドライトの器械高

f_i : 目標高

D : 測定距離

補正量 $d\alpha_i$ は角度秒で求める。距離の単位はm、角度の単位は、度分秒とする。

2. 距離の計算(鋼巻尺使用の場合)

$$D = D_s + D_s \cdot \Delta\ell / \ell + \alpha(t - t_0)D_s + C_h + C_H$$

ただし、

D : 基準面上の距離

D_s : 観測した距離

$\Delta\ell$: 尺定数

ℓ : 鋼巻尺の全長

$D_s \cdot \Delta\ell / \ell$: 尺定数の補正 ($\Delta\ell / \ell$: 単位長当たりの補正量)

α : 鋼巻尺の膨張係数

t : 測定時の温度

t_0 : 鋼巻尺検定時の標準温度

$\alpha(t - t_0)D_s$: 温度による尺長の変化の補正量

h : 観測点間の高低差

C_h : 傾斜補正 $-\frac{h^2}{2D_s}$

C_H : 投影補正 (標高 H による補正) $-\frac{D_s(H + N)}{R}$

ただし、

H : 両端点の平均標高

N : 両端点の平均ジオイド高

R : 平均曲率半径

3. 偏心補正計算

(1) 正弦定理による計算

$$x = \sin^{-1} \left(\frac{e}{S} \sin \alpha \right)$$

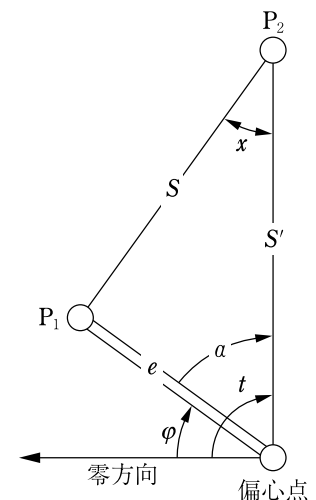
(注) $\frac{e}{S}$ 又は $\frac{e}{S'} < \frac{1}{450}$ のときは、

$S = S'$ として計算することができる。

(2) 二辺夾角による計算

$$x = \tan^{-1} \left(\frac{e \sin \alpha}{S' - e \cos \alpha} \right)$$

$$S = \sqrt{S'^2 + e^2 - 2S'e \cos \alpha}$$



図A

偏心点 : 偏心角を測定した測点

x : 偏心補正量

S : P_1 と P_2 との距離

S' : 偏心点と P_2 との距離

e : 偏心距離

$$\alpha = t - \varphi$$

t : 観測した水平角, φ : 偏心角

(3) 高度角の偏心補正計算

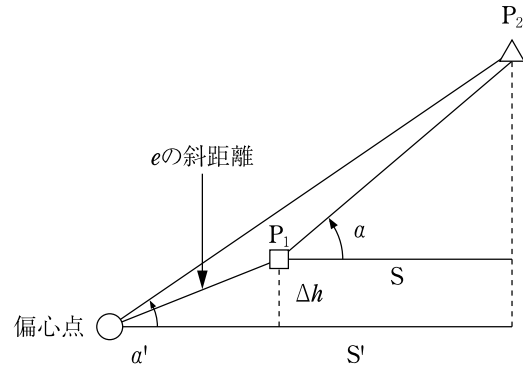
$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{S' \tan \alpha' + \Delta h}{S} \right)$$

ただし、

α : 修正高度角

α' : 観測高度角

Δh : P_1 を基準とする偏心点の高低差



((1)、(2)、(3) の適用で何点重複しても計算できる。従って相互偏心も含まれる。)

(4) 偏心補正の符号

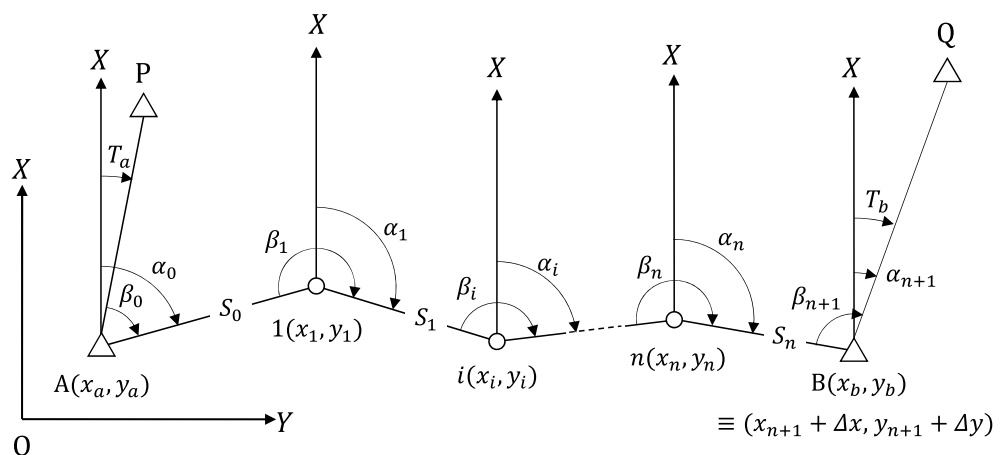
正とは、図Aにおいて、偏心点で観測した水平角 t に補正する。反とは、 P_2 での水平角に補正することを示す。

＋は、計算した補正量の符号をそのまま加用する。－は、計算した補正量の符号を反し加用することを示す。

B・C・P の関係	偏心角を測定した位置の区分		
	水平角観測を行った観測点 B	測点の中心 C	目標の中心 P
$(B = P) \neq C$	正 ・ +	正 ・ -	正 ・ +
	反 ・ +	反 ・ -	反 ・ +

4. 座標の近似値及び閉合差の計算 (多角測量方式)

〈多角路線の記号の説明〉



(既知件)

A : 出発点 (既知点) x_a, y_a : Aの x, y 座標

B : 結合点 (既知点) x_b, y_b : Bの x, y 座標

T_a : 出発点の方向角

T_b : 結合点の方向角

(観測件)

β_i : 観測した水平角, (角数 = $n + 2$)

α_i : 測点で次の点に対する方向角, (角数 = $n + 2$)

S_i : 測点から次の点までの平面上の距離, (辺数 = $n + 1$)

i : 測点番号, (点数 = n)

(求 件)

x_i, y_i : 測点 i の x, y 座標

$\Delta x, \Delta y$: 座標の閉合差, $\Delta \alpha$: 方向角の閉合差

(その他の記号)

X : 座標の x 軸の方向 Y : 座標の y 軸の方向

P, Q : 既知点

(1) 方向角の計算

出発点 A の方向角 : $\alpha_0 = T_a + \beta_0$

測点 i の方向角 : $\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_i \pm 180^\circ$

結合点 B の方向角 : $\alpha_{n+1} = \alpha_n + \beta_{n+1} \pm 180^\circ$

(2) 方向角の閉合差

$$\Delta \alpha = T_b - \alpha_{n+1}$$

又は

$$\Delta \alpha = T_b - T_a - \Sigma \beta + (n \pm 1)180^\circ$$

(3) 座標の近似値の計算

測点 1 の座標 : $x_1 = x_a + dx_1, y_1 = y_a + dy_1$

測点 i の座標 : $x_i = x_{i-1} + dx_i, y_i = y_{i-1} + dy_i$

ただし、

$$dx_i = S_i \cos \alpha_i, \quad dy_i = S_i \sin \alpha_i$$

(4) 座標の閉合差

$$\Delta x = x_b - x_{n+1} = x_b - x_a - \Sigma dx$$

$$\Delta y = y_b - y_{n+1} = y_b - y_a - \Sigma dy$$

(5) 座標の閉合比

$$\frac{\Delta s}{S} = \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{S} \quad S \text{ は多角路線長}$$

(6) 無方向トラバース(始点、終点で取付方向角なし)

1) 始点から、第1測点への

方向角 T_{A1} の計算

始点 A から第1測点の方向角を

0°としてトラバース計算を行い

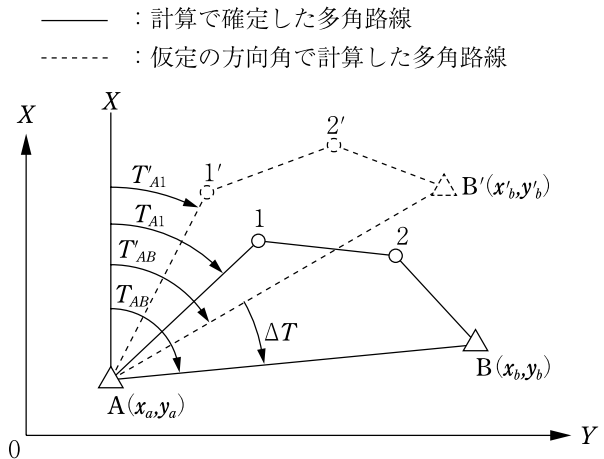
$\Delta x, \Delta y$ を求める。

$$T_{A1} = T'_{A1} + \Delta T$$

$$\Delta T = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right)$$

2) 多角計算

取付方向角のあるトラバースと同じ。(省略)



5. 標高の近似値及び閉合差の計算(多角測量方式)

(1) 標高差の計算

<標高計算の説明>

H_i : P_i 点の標高

i_i : P_i 点の器械高

f_i : P_i 点の目標高

h : P_1 点と P_2 点との高低差

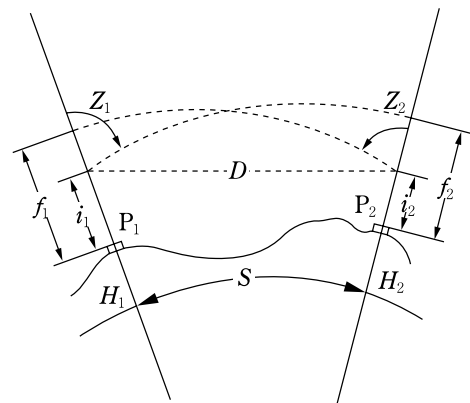
D : 斜距離

S : 球面距離

Z_i : P_i 点で観測した鉛直角

α_i : P_i 点における高度角、 $\alpha_i : 90^\circ - Z_i$

$$h = D \sin \left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \right) + \frac{i_1 + f_1}{2} - \frac{i_2 + f_2}{2}$$



(2) 標高の閉合差

1) 多角路線の閉合差

$$dh = H_b - H_a - \sum h$$

ただし、

dh : 閉合差、 H_a : 出発点の標高 H_b : 結合点の標高

2) 閉合多角路線の閉合差

$$dh = \sum h$$

3) 標高の近似値の計算

高低網平均における近似値は、標高の概算値とする。

$$H_2 = H_1 + h$$

6. 厳密網平均計算(水平)

(1) 観測値を平面直角座標系上へ変換する補正計算

1) 方向角の変換

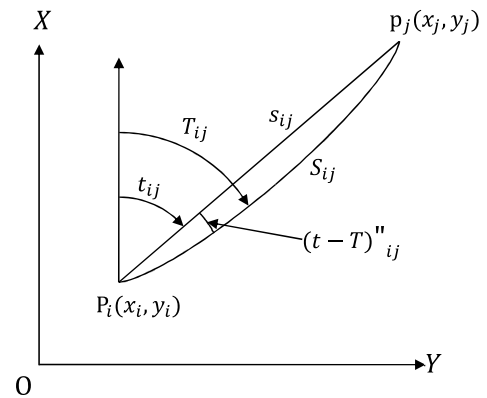
$$(t - T)''_{ij} = \frac{\rho''}{6m_0^2 R_0^2} (x'_i - x'_j)(2y'_i + y'_j)$$

$$t_{ij} = T_{ij} + (t - T)''_{ij}$$

2) 距離の変換

$$\left(\frac{S}{S}\right)_{ij} = m_0 \left(1 + \frac{y'^2_i + y'_i y'_j + y'^2_j}{6m_0^2 R_0^2}\right)$$

$$s_{ij} = S_{ij} \left(\frac{S}{S}\right)_{ij}$$



ただし、

t_{ij} : 平面直角座標上の観測方向角

T_{ij} : 基準面上の観測方向角

s_{ij} : 平面直角座標上の測定距離

S_{ij} : 基準面上の測定距離

m_0 : 平面直角座標系の X 軸上における縮尺係数 0.9999

R_0 : 平面直角座標系原点の平均曲率半径

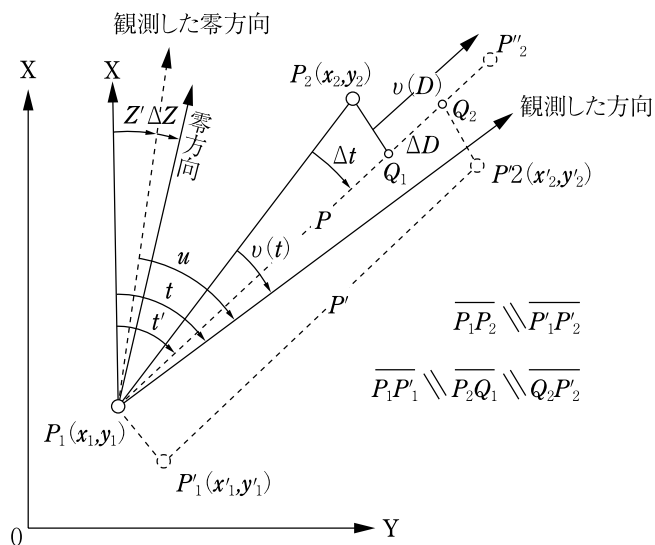
x'_i, y'_i : P_i 点の近似座標値

x'_j, y'_j : P_j 点の近似座標値

$$\rho'' = \frac{180^\circ}{\pi} 3600''$$

(2) 観測方程式

＜平均値・観測値・近似値等の関係＞



1) 測点

P_1 : 測点 1 の決定位置 x_1, y_1 : P_1 の x, y (最確値)

P_2 : 測点 2 の決定位置 x_2, y_2 : P_2 の x, y (最確値)

P'_1 : 測点 1 の近似位置 x'_1, y'_1 : P'_1 の x, y (近似値)

P_2 : 測点 2 の近似位置 x'_2, y'_2 : P'_2 の x, y (近似値)

P''_2 : $\overline{P'_1P'_2}$ に平行で $\overline{P'_1P''_2} = s$ の位置

X : 座標の X 軸の方向 Y : 座標の Y 軸の方向

2) 角

Z' : 標準角

 ΔZ : 標定誤差 (標準角に対する補正量)

u : 測点1において観測した零方向と測点2の平面直角座標上の夾角

t : 方向角 (観測方向角), $t = z' + u$

t' : 座標の近似値により計算した方向角 (近似方向角)

$$t' = \tan^{-1} \left(\frac{y'_2 - y'_1}{x'_2 - x'_1} \right)$$

Δt : 近似方向角に対する補正量 (方向角の補正量)

 $\nu(t)$: 方向角の残差

3) 距離

S : 球面距離

s : 平面距離

s' : 座標の近似値により計算した距離 (近似値)

$$s = \sqrt{(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2}$$

Δs : 近似距離に対する補正量 (距離の補正)

$v(s)$: 測定した距離の残差

4) 座標

$\Delta x_i, \Delta y_i$: 測点 i の座標の近似値に対する補正量

(3) 観測値の重量

各観測方程式には観測精度に応じた重みをつける

1 方向の重みを 1 とし

距離の重み P_s は、 $P_s = \frac{m_t^2 \cdot S_{ij}^2}{(m_s^2 + \gamma^2 S_{ij}^2) \rho''^2}$ とする。

ただし、

P_s : 距離の重量

m_t : 水平角の 1 方向の平均二乗誤差 (角度)

m_s : 距離の平均二乗誤差の定数項 (m)

γ : 距離の平均二乗誤差の比例係数

(4) 観測方程式の係数

$$a_{1,2} = \frac{y'_2 - y'_1}{S'^2} \rho''$$

$$b_{1,2} = \frac{x'_2 - x'_1}{S'^2} \rho''$$

(5) 方向角の観測方程式

$$v(t_{1,2}) = -\Delta Z + a_{1,2}\Delta x_1 - b_{1,2}\Delta y_1 - a_{1,2}\Delta x_2 + b_{1,2}\Delta y_2 + lt_{1,2}$$

重量 = 1

ただし、

$$lt_{1,2} = t'_{1,2} - t_{1,2} \quad \Delta Z : \text{標定誤差}$$

(6) 距離の観測方程式

$$\frac{v(s_{1,2})}{s'_{1,2}} \rho'' = b_{1,2} \Delta x_1 - a_{1,2} \Delta y_1 + b_{1,2} \Delta x_2 + a_{1,2} \Delta y_2 + ls_{1,2}$$

重量 : Ps

ただし、

$$ls_{1,2} = \frac{s' - s}{s'} \rho''$$

(7) 平均計算

1) 観測方程式の行列表示

$$V = AX + L, \quad P$$

ただし、

V : 残差のベクトル	}	行列要素の配列順位は それぞれ対応している。
A : 係数行列		
X : 未知数のベクトル		
L : 定数項のベクトル		
P : 重量行列		

2) 標準方程式の行列

$$NX = -U$$

ただし、

$$N = A'PA, \quad U = A'PL$$

A' は、 A の転置行列 [$A = (\alpha_{ij})$ のとき、 $A' = (\alpha_{ji})$]
である。

3) 解

$$X = -N^{-1}U$$

N^{-1} は、 N の逆行列である。

4) 座標の最確値

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x'_i + \Delta x_i \\ y_i &= y'_i + \Delta y_i \end{aligned} \right\}$$

5) 単位重量の平均二乗誤差

$$M = \pm \sqrt{\frac{\sum P v^2}{q - (r + 2n)}}$$

M は、角度で表示する。

ただし、

M : 単位重量の平均二乗誤差

P : 観測値の重量 v : 残差

q : 観測方程式の数 n : 新点の数

r : 方向観測の組の数

6) 座標の平均二乗誤差

$$M_x = \frac{M}{\sqrt{P_x}} \cdots \cdots X \text{ 座標の平均二乗誤差}$$

$$M_y = \frac{M}{\sqrt{P_y}} \cdots \cdots Y \text{ 座標の平均二乗誤差}$$

$$M_s = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \cdots \cdots \text{座標の平均二乗誤差}$$

M_x, M_y, M_s は、長さで表示する。

ただし、

$P_x : \Delta x$ の重量 $P_y : \Delta y$ の重量

〔注〕 $1/P_x, 1/P_y$ は、逆行列 N^{-1} の対角要素である。

7. 厳密網平均計算(高低)

(1) 観測した高度角の標石上面への補正計算

＜補正計算の説明＞

H_i : 標高

A_i : 測点 i から観測した高度角

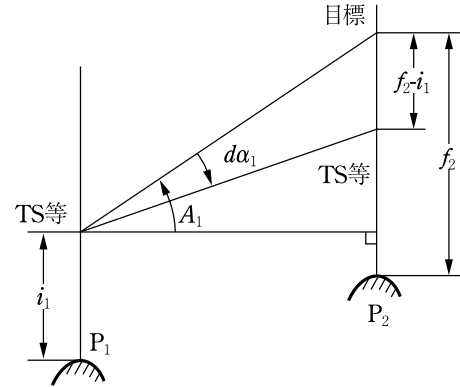
$d\alpha_i$: A_i に対する補正量

α_i : A_i に補正後の高度角

i_i : 器械高

f_i : 目標高

P_i : 測点番号



1) 正の高度角に対する補正量

$$d\alpha_1 = \tan^{-1} \left\{ \frac{\frac{(f_2 - i_1) \cos A_1}{\frac{S}{\cos A_1} - (f_2 - i_1) \sin A_1}} \right\}$$

2) 反の高度角に対する補正量

$$d\alpha_2 = \tan^{-1} \left\{ \frac{\frac{(f_1 - i_2) \cos A_2}{\frac{S}{\cos A_2} - (f_1 - i_2) \sin A_2}} \right\}$$

ただし、 S は球面距離

3) 補正した観測高度角

$$\alpha_1 = A_1 - d\alpha_1$$

$$\alpha_2 = A_2 - d\alpha_2$$

(2) 観測方程式

＜平均値・観測値・近似値の関係＞

P_i : 平均計算で確定した測点

H_i : 標高の最確値

P'_i : 近似値による測点

H'_i : 近似標高

Δh_i : 近似標高に対する補正量

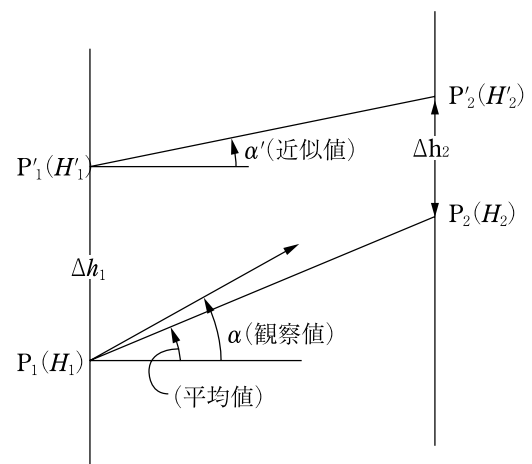
α : 観測高度角

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$$

α' : 近似標高により求めた高度角

$$\alpha' = \tan^{-1} \left\{ \frac{H_2 - H_1}{S} \left(1 - \frac{H_2 + H_1}{2R} \right) \right\}$$

S : 球面距離



R : 平均曲率半径

1) 観測値の重量

正反を 1 組とした $\alpha = \left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \right)$ の観測値の重量を 1 とする。

2) 観測方程式の係数

$$C_1 = \frac{\cos^2 \alpha'}{S} \left(1 - \frac{H'_1}{R} \right) \rho''$$

$$C_2 = \frac{\cos^2 \alpha'}{S} \left(1 - \frac{H'_2}{R} \right) \rho''$$

3) 観測方程式

$$v(\alpha) = -C_1 \Delta h_1 + C_2 \Delta h_2 + l_{1,2}$$

重量 = 1

ただし、 $l_{1,2} = \alpha' - \alpha$

(3) 平均計算

1) 観測方程式の行列表示 行列及び解は、厳密網平均計算（水平）に準ずる。

2) 標高の最確値

$$H_i = H'_i + \Delta h_i$$

3) 重量 1 の平均二乗誤差

$$M = \pm \sqrt{\frac{\sum P v^2}{q - n}}$$

M は、角度で表示する。

4) 標高の平均二乗誤差

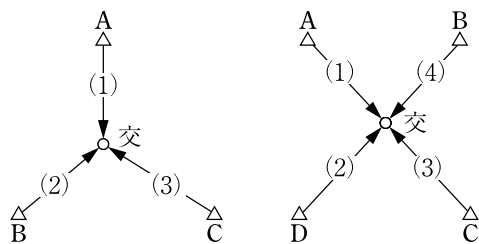
$$M_h = \frac{M}{\sqrt{P_h}}$$

M_h は、長さで表示する。

ただし、 $P_h : \Delta h$ の重量

8. 簡易網平均(水平及び高低)

(1) 重量平均による方法(X、Y 型)



1) 方向角の計算

既知点 A,B,C,D から順次交点までの観測方向角

$$\alpha'_1 = \alpha_{0,1} + \sum_1^n \beta_1 - (n \pm 1)180^\circ - 0^\circ$$

$$\alpha'_2 = \alpha_{0,2} + \sum_1^n \beta_2 - (n \pm 1)180^\circ - \gamma_2$$

.....

$$\alpha'_i = \alpha_{0,i} + \sum_1^n \beta_i - (n \pm 1)180^\circ - \gamma_i$$

α'_i : 交点における零方向に対する観測方向角

$\alpha_{0,i}$: 出発点における第1節点の観測方向角

β_i : 多角節点の夾角

γ_i : 交点において路線番号の若い路線に属する隣接多角節点を零方向とした、
他の多角路線の隣接多角節点に対する水平角

n_i : 当該多角路線の節点数

i : 多角路線の番号

ただし、括弧内の複符号は $\alpha_{0,i} + \sum_1^n \beta_i - \gamma_i > (n+1)180^\circ$ のときは正、

$\alpha_{0,i} + \sum_1^n \beta_i - \gamma_i < (n+1)180^\circ$ のとき負となる。

2) 方向角の平均計算

$$\alpha = \frac{P_1\alpha'_1 + P_2\alpha'_2 + P_3\alpha'_3 + \dots}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots}$$

$$\sum d\beta_i = \alpha - \alpha'_i$$

α : 平均方向角

$P_i = \frac{1}{S_i}$: 重量 (S_i は i 多角路線の路線長。方向角の平均計算においては、
 S_i に替えて、多角路線の観測点数 N_i を用いる。)

$\sum d\beta_i$: 各路線の補正角

3) 座標計算

① i 路線から求めた交点の座標

$$X'_1 = X_{0,1} + \sum_1^{n+1} \Delta X_1 \quad Y'_1 = Y_{0,1} + \sum_1^{n+1} \Delta Y_1$$

$$X'_2 = X_{0,2} + \sum_1^{n+1} \Delta X_2 \quad Y'_2 = Y_{0,2} + \sum_1^{n+1} \Delta Y_2$$

$$X'_3 = X_{0,3} + \sum_1^{n+1} \Delta X_3 \quad Y'_3 = Y_{0,3} + \sum_1^{n+1} \Delta Y_3$$

$$\Delta X = s \cos \alpha$$

$$\Delta Y = s \sin \alpha$$

② 交点における平均座標の計算

$$X = \frac{P_1 X'_1 + P_2 X'_2 + P_3 X'_3 + \cdots}{P_1 + P_2 + P_3 + \cdots}$$

$$Y = \frac{P_1 Y'_1 + P_2 Y'_2 + P_3 Y'_3 + \cdots}{P_1 + P_2 + P_3 + \cdots}$$

③ 各路線の閉合差

$$\sum_1^{n+1} dX_i = X - X'_i \quad \sum_1^{n+1} dY_i = Y - Y'_i$$

X'_i, Y'_i : 交点の概算座標

X, Y : 交点の平均座標

dX_i, dY_i : 各路線の節点の補正量

$\sum dX_i, \sum dY_i$: 各路線の閉合差

4) 高低計算

① i 路線から求めた交点の標高

$$H'_1 = H_{0,1} + \sum_1^{n+1} \Delta h_1$$

$$H'_2 = H_{0,2} + \sum_1^{n+1} \Delta h_2$$

$$H'_3 = H_{0,3} + \sum_1^{n+1} \Delta h_3$$

Δh_i : 直接水準測量又は間接水準測量で測定した高低差

H'_i : 交点の標高

H_0 : 与点の標高

② 交点における平均標高の計算

$$H = \frac{P_1 H'_1 + P_2 H'_2 + P_3 H'_3 + \cdots}{P_1 + P_2 + P_3 + \cdots}$$

③各路線の閉合差

$$\sum_1^{n+1} dH_i = H - H'_i$$

H : 交点の平均標高

$\sum dH_i$: 各路線の標高閉合差

dH_i : 各路線の節点の標高補正量

(2) 観測方程式による方法

1) 方向角の観測方程式

$$v_{ij} = T'_j - T'_i + dT_j - dT_i - \Delta T_{ij} \quad \text{重量 } P_{ij}$$

$$\Delta T_{ij} = \beta_{0i} + \sum_1^n \beta_i - (n \pm 1)180^\circ - \gamma_i$$

T'_i, T'_j : 点 i 及び j における零方向の仮定方向角

dT_i, dT_j : T'_i, T'_j に対する補正量

ΔT_{ij} : 点 i, j 間の観測夾角

v_{ij} : 点 i, j 間の観測値の偏差

β_{0i} : 出発点における観測夾角

γ_j : 結合点における観測夾角

2) X 座標、Y 座標の観測方程式

$$v_{ij} = X'_j - X'_i + dX_j - dX_i - \Delta X_{ij} \quad \text{重量 } P_{ij}$$

$$v_{ij} = Y'_j - Y'_i + dY_j - dY_i - \Delta Y_{ij} \quad \text{重量 } P_{ij}$$

X'_i, X'_j (Y'_i, Y'_j): i, j の仮定 X (Y) 座標

dX_i, dX_j (dY_i, dY_j): X'_i, X'_j (Y'_i, Y'_j) に対する補正量

ΔX_{ij} (ΔY_{ij}): 点 i, j 間の観測緯距 (経距)

v_{ij} : 点 i, j 間の観測値の偏差

3) 標高の観測方程式

$$v_{ij} = H'_j - H'_i + dH_j - dH_i - \Delta H_{ij}$$

$$\Delta H_{ij} = \sum \Delta h$$

H'_i, H'_j : 点 i, j の仮定標高

dH_i, dH_j : H'_i, H'_j に対する補正量

ΔH_{ij} : 点 i, j 間の観測高低差

v_{ij} : 点 i, j 間の観測値の偏差

ただし、点 i, j は各路線の始終点とし既知点の場合は仮定方向角、座標、標高は既知点成果を用い、補正量の項はないものとする。

4) 方向角、座標、標高の観測方程式をおのこの答解し、交点の平均値を求める。

①各観測夾角に対する補正

$$d\beta = \frac{\sum d\beta}{n}$$

$d\beta$: 各観測夾角に対する補正量

$\sum d\beta$: 多角路線の補正量

n : 多角路線の観測点数

②各多角辺の座標差及び高低差に対する補正

$$dX = \sum dX \frac{s}{S}$$

$$dY = \sum dY \frac{s}{S}$$

$$dH = \sum dH \frac{s}{S}$$

dX, dY, dH : 各多角辺の座標差及び高低差に対する補正量

$\sum dX, \sum dY, \sum dH$: 多角路線の座標差及び高低差に対する補正量

s : 各多角辺の辺長

S : 路線長

9. 座標差による方向角及び基準面上の距離の計算

(1) 基準面上の方向角

$$T_{12} = \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) - (t - T)_{12}$$

ただし、

x_i, y_i : 測点 1 及び測点 2 の座標

象限 : 第 1 象限 : $(y_2 - y_1) > 0, (x_2 - x_1) > 0$

第 2 象限 : $(y_2 - y_1) > 0, (x_2 - x_1) < 0$

第 3 象限 : $(y_2 - y_1) < 0, (x_2 - x_1) < 0$

第 4 象限 : $(y_2 - y_1) < 0, (x_2 - x_1) > 0$

$$(t - T)_{12} = \frac{\rho''}{6m_0^2 R_0^2} (x_1 - x_2)(2y_1 + y_2)$$

$$\rho'' = \frac{180^\circ}{\pi} 3600''$$

(2) 基準面上の距離

$$S_{12} = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{\frac{s}{S}}$$

$$\frac{s}{S} = m_0 \left(1 + \frac{y_1^2 + y_1 y_2 + y_2^2}{6m_0^2 R_0^2} \right)$$

ただし、

R_0 : 平面直角座標系原点の平均曲率半径

m_0 : 平面直角座標系の X 軸上における縮尺係数 (0.9999)

(3) 成果表に記載する縮尺係数

$$m = m_0 \left(1 + \frac{y^2}{2m_0^2 R_0^2} \right)$$

ただし、

y : 当該点の y 座標

10. 座標計算

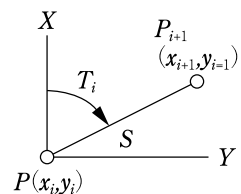
(1) 放射法

P_i から P_{i+1} の座標値を求める

$$x_{i+1} = x_i + S \cdot \cos T_i$$

$$y_{i+1} = y_i + S \cdot \sin T_i$$

T_i : P_i 点から P_{i+1} に対する方向角



(2) 交点計算

1) 2 直線 4 点座標の場合

$$m_1 = \frac{B}{A}$$

$$m_2 = \frac{F}{E}$$

$$L = D - C \cdot m_2$$

$$M = m_1 - m_2$$

$$\Delta x = \frac{L}{M}$$

$$\Delta y = \Delta x \cdot m_1$$

$$X = \Delta x + x_1$$

$$Y = \Delta y + y_1$$

ただし

$$A = x_2 - x_1$$

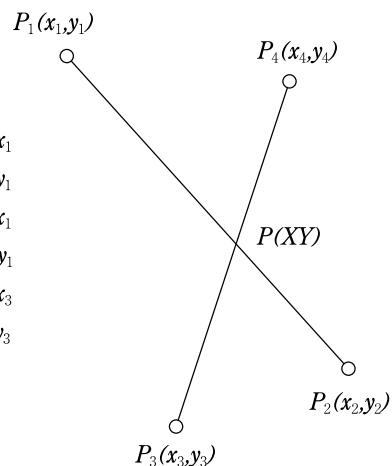
$$B = y_2 - y_1$$

$$C = x_3 - x_1$$

$$D = y_3 - y_1$$

$$E = x_4 - x_3$$

$$F = y_4 - y_3$$



2) 2 方向及び 2 点座標の場合

$$S_1 = (\Delta Y_1 \cdot \cos \beta - \Delta X_1 \cdot \sin \beta) \cdot \operatorname{cosec} \theta$$

$$S_2 = (\Delta Y_1 \cdot \cos \alpha - \Delta X_1 \cdot \sin \alpha) \cdot \operatorname{cosec} \theta$$

ただし、 $\theta = \beta - \alpha$

$$\Delta X_2 = S_1 \cdot \cos \alpha$$

$$\Delta Y_2 = S_1 \cdot \sin \alpha$$

$$X_k = X_1 + \Delta X_2$$

$$Y_k = Y_2 + \Delta X_3$$

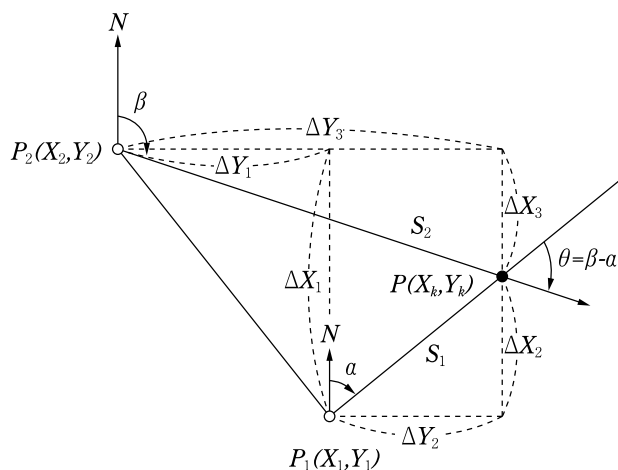
$$\Delta X_3 = S_2 \cdot \cos \beta$$

$$\Delta Y_3 = S_2 \cdot \sin \beta$$

$$Y_k = Y_1 + \Delta Y_2$$

$$Y_k = Y_2 + \Delta Y_3$$

} より求点座標 (X_k, Y_k) を算出する。



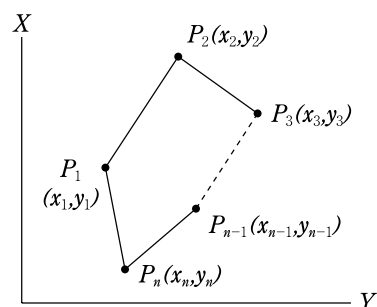
11. 面積の計算

(1) 座標法

$$A = \frac{1}{2} \left\{ x_1(y_2 - y_n) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + \dots + x_{n-1}(y_n - y_{n-2}) + x_n(y_1 - y_{n-1}) \right\}$$

または、

$$A = \frac{1}{2} \left\{ y_1(x_2 - x_n) + y_2(x_3 - x_1) + y_3(x_4 - x_2) + \dots + y_{n-1}(x_n - x_{n-2}) + y_n(x_1 - x_{n-1}) \right\}$$



12. GNSS測量機を使用した場合の計算

(1) 座標系の変換

1) 緯度、経度及び高さから地心直交座標系への変換

$$X = (N + H) \cos\varphi \cdot \cos\lambda$$

$$Y = (N + H) \cos\varphi \cdot \sin\lambda$$

$$Z = \left\{ N (1 - e^2) + H \right\} \sin\varphi$$

ただし、

φ : 緯度

λ : 経度

H : 楕円体からの高さ

N : 卯酉線曲率半径

e : 第一離心率

とする。

2) 地心直交座標系から緯度、経度及び高さへの変換

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{Z}{P - e^2 N_{i-1} \cos \varphi_{i-1}} \right) \quad (\varphi \text{ は繰り返し計算})$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{X} \right)$$

$$h = \frac{P}{\cos \varphi} - N$$

$$P = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

ただし、

$$\varphi \text{ の収束条件 : } |\varphi_i - \varphi_{i-1}| \leq 10^{-12} \quad (\text{rad})$$

φ_i : i 回目の計算結果

$$\varphi_0 : \tan^{-1} \left\{ \frac{Z}{P(1 - e^2)} \right\}$$

3) 点検計算の許容範囲に使用する閉合差、較差及び環閉合差 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ から $\Delta N, \Delta E, \Delta U$ への変換計算

①既知点間の閉合差

$$\begin{pmatrix} \Delta N \\ \Delta E \\ \Delta U \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

ただし、

ΔN : 水平面の南北成分の閉合差

ΔE : 水平面の東西成分の閉合差

ΔU : 高さ成分の閉合差

ΔX : 地心直交座標 X 軸成分の閉合差

ΔY : 地心直交座標 Y 軸成分の閉合差

ΔZ : 地心直交座標 Z 軸成分の閉合差

$$R = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{pmatrix}$$

φ, λ は、測量地域内の任意の既知点の緯度、経度値とする。

②重複辺の較差

①の内 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ を

ΔX : 基線ベクトル X 軸成分の較差

ΔY : 基線ベクトル Y 軸成分の較差

ΔZ : 基線ベクトル Z 軸成分の較差

③基線ベクトルの環閉合差

①の内 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ を

ΔX : 基線ベクトル X 軸成分の環閉合差

ΔY : 基線ベクトル Y 軸成分の環閉合差

ΔZ : 基線ベクトル Z 軸成分の環閉合差

(2) 偏心補正計算

1) 偏心補正計算に必要な距離計算

$$D = \sqrt{(D' \cdot \cos \alpha_m)^2 + (D' \cdot \sin \alpha_m + i_1 - f_2)^2}$$

$$\alpha_m = \frac{(\alpha'_1 - \alpha'_2)}{2}$$

ただし、

D : 本点と偏心点の斜距離

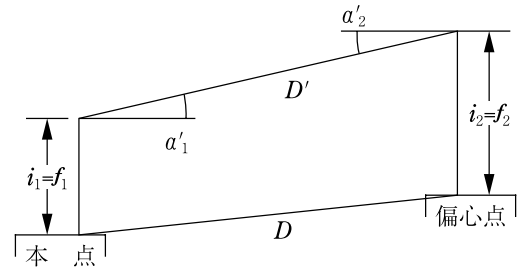
D' : 測定した斜距離

α'_1, α'_2 : 観測高度角

i_1, i_2 : 器械高

f_1, f_2 : 目標高

とする。



2) 偏心計算に必要な高度角に対する補正計算

$$\alpha_1 = \alpha'_1 + d\alpha_1$$

$$\alpha_2 = \alpha'_2 + d\alpha_2$$

$$d\alpha_1 = \sin^{-1} \frac{(i_1 - f_2) \cdot \cos \alpha'_1}{D}$$

$$d\alpha_2 = \sin^{-1} \frac{(i_2 - f_1) \cdot \cos \alpha'_2}{D}$$

ただし、

α_1, α_2 : 本点と偏心点の高度角

α'_1, α'_2 : 観測高度角

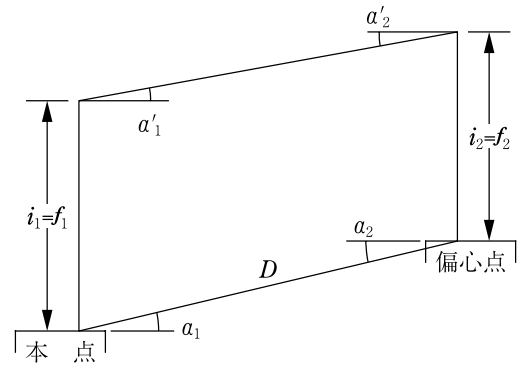
$d\alpha_1, d\alpha_2$: 高度角の補正量

D : 本点と偏心点の斜距離

i_1, i_2 : 器械高

f_1, f_2 : 目標高

とする。



3) 偏心補正計算に必要な方位角の計算

①偏心点から本点の方位角計算

$$\beta = \beta_0 + \theta$$

$$\beta_0 = \tan^{-1} \frac{D_y}{D_x}$$

$$\begin{pmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin\varphi \cdot \cos\lambda & -\sin\varphi \cdot \sin\lambda & \cos\varphi \\ -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ \cos\varphi \cdot \cos\lambda & \cos\varphi \cdot \sin\lambda & \sin\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x' \\ \Delta y' \\ \Delta z' \end{pmatrix}$$

ただし、

β : 偏心点から本点の方位角

β_0 : 方位標の方位角

θ : 偏心角

D_x, D_y, D_z : 基線ベクトルの局所地平座標系における成分

φ : 偏心点の緯度 (当該楕円体)

λ : 偏心点の経度 (当該楕円体)

$\Delta x', \Delta y', \Delta z'$: 基線ベクトルの地心直交座標系における成分

(偏心点と方位標の三次元座標差)

②本点から偏心点の方位角計算

$$\beta' = \beta \pm 180^\circ - \gamma$$

$$\gamma = \frac{S' \cdot \sin \beta' \cdot \tan \varphi_c}{N_c}$$

$$S' = \frac{D \cdot \cos \alpha_m \cdot R}{(R + H_m)}$$

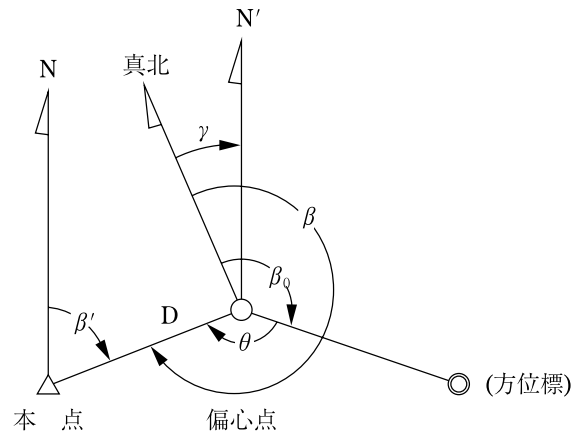
$$\varphi_c = \varphi_1 + \frac{x}{M}$$

$$x = S' \cdot \cos \beta'$$

$$\alpha_m = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)}{2}$$

$$H_m = \frac{(H_1 + H_2)}{2}$$

$$R = \sqrt{M \cdot N_c}$$



ただし、

β : 偏心点から本点の方位角 (3) ①で計算した値を使用する)

γ : 本点を基準としたときの偏心点における子午線収差角

S' : 基準面上の距離 (当該楕円体)

D : 本点と偏心点の斜距離

φ_1 : 本点の緯度 (当該楕円体)

N_c : 卯酉線曲率半径 (当該楕円体; 引数は φ_c とする)

M : 子午線曲率半径 (当該楕円体; 引数は φ_1 とする)

R : 平均曲率半径 (当該楕円体; 引数は φ_1 とする)

α_1, α_2 : 本点と偏心点の高度角

H_1, H_2 : 本点と偏心点の楕円体高

とする。

(注) γ の計算は、最初、 $\beta'_0 = \beta + 180^\circ$ の値で計算し、 $|\beta' - \beta'_0| \leq 0.1''$ を満たすまで反復計算する。

4) 偏心補正計算（基線ベクトルの局所地平座標系における成分を地心直交座標系における成分に変換する。）

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin\varphi \cdot \cos\lambda & -\sin\lambda & \cos\varphi \cdot \cos\lambda \\ -\sin\varphi \cdot \sin\lambda & \cos\lambda & \cos\varphi \cdot \sin\lambda \\ \cos\varphi & 0 & \sin\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} D \cdot \cos\alpha_m \cdot \cos\beta \\ D \cdot \cos\alpha_m \cdot \sin\beta \\ D \cdot \sin\alpha_m \end{pmatrix}$$

$$\alpha_m = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)}{2}$$

ただし、

Δx 、 Δy 、 Δz ：偏心補正量

φ ：本点の緯度（当該楕円体）

λ ：本点の経度（当該楕円体）

D ：本点と偏心点の斜距離

α_1 、 α_2 ：本点と偏心点の高度角

β ：本点から偏心点又は偏心点から本点の方位角（当該楕円体）

とする。

5) 偏心補正の方法

①偏心点及び本点で偏心角観測をした場合

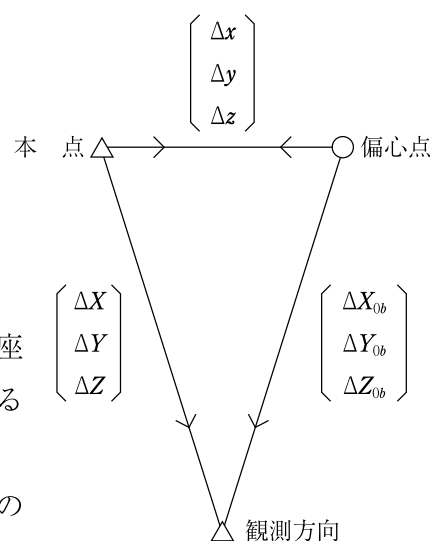
$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X_{0b} \\ \Delta Y_{0b} \\ \Delta Z_{0b} \end{pmatrix} \pm \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

ただし、

ΔX 、 ΔY 、 ΔZ ：偏心補正後の2点間の三次元座標差（地心直交座標系における成分）

ΔX_{0b} 、 ΔY_{0b} 、 ΔZ_{0b} ：偏心点で観測した2点間の三次元座標差（地心直交座標系における成分）

Δx 、 Δy 、 Δz ：偏心補正量〔4) 偏心補正計算で計算した値〕とする。



②偏心点の座標が未知の場合

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} \pm \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

ただし、

X, Y, Z ：偏心点の三次元座標（地心直交座標系における成分）

X_1, Y_1, Z_1 ：本点の三次元座標（地心直交座標系における成分）

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ：偏心補正量〔 4）偏心補正計算で計算した値〕とする。

(3)三次元網平均

1) GNSS 基線ベクトル

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N_i + h_i) \cdot \cos\varphi_i \cdot \cos\lambda_i \\ (N_i + h_i) \cdot \cos\varphi_i \cdot \sin\lambda_i \\ \{N_i(1 - e^2) + h_i\} \cdot \sin\varphi_i \end{pmatrix} \quad i = 1, 2$$

2) 観測方程式

①測地座標（緯度 φ 、経度 λ 、楕円体高 h ）による観測方程式

$$\begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} = m_2 \begin{pmatrix} \delta\varphi_2 \\ \delta\lambda_2 \\ \delta h_2 \end{pmatrix} - m_1 \begin{pmatrix} \delta\varphi_1 \\ \delta\lambda_1 \\ \delta h_1 \end{pmatrix} + M_\xi \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \xi + M_\eta \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \eta + M_\alpha \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \alpha + \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta X_{0b} \\ \Delta Y_{0b} \\ \Delta Z_{0b} \end{pmatrix}$$

(補正量) (未知量) (未知量)

(概算値)(観測値)

(注) 測量地域の微小回転を推定しない場合は、 ξ, η, α の項は除く。

$$m_i = \begin{pmatrix} -(M_i + h_i) \cdot \sin\varphi_i \cdot \cos\lambda_i & -(N_i + h_i) \cdot \cos\varphi_i \cdot \sin\lambda_i & \cos\varphi_i \cdot \cos\lambda_i \\ -(M_i + h_i) \cdot \sin\varphi_i \cdot \sin\lambda_i & (N_i + h_i) \cdot \cos\varphi_i \cdot \cos\lambda_i & \cos\varphi_i \cdot \sin\lambda_i \\ (M_i + h_i) \cdot \cos\varphi_i & 0 & \sin\varphi_i \end{pmatrix} \quad (i = 1, 2)$$

$$M_\xi = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -\cos\lambda_0 \\ 0 & 0 & -\sin\lambda_0 \\ \cos\lambda_0 & \sin\lambda_0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_\eta = \begin{pmatrix} 0 & -\cos\varphi_0 & -\sin\varphi_0 \cdot \sin\lambda_0 \\ \cos\varphi_0 & 0 & \sin\varphi_0 \cdot \cos\lambda_0 \\ \sin\varphi_0 \cdot \sin\lambda_0 & -\sin\varphi_0 \cdot \cos\lambda_0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_\alpha = \begin{pmatrix} 0 & \sin\varphi_0 & -\cos\varphi_0 \cdot \sin\lambda_0 \\ -\sin\varphi_0 & 0 & \cos\varphi_0 \cdot \cos\lambda_0 \\ \cos\varphi_0 \cdot \sin\lambda_0 & -\cos\varphi_0 \cdot \cos\lambda_0 & 0 \end{pmatrix}$$

ただし、

φ_0, λ_0 : 既知点（任意）の緯度、経度

ξ : 測量地域の南北成分の微小回転

η : 測量地域の東西成分の微小回転

α : 網の鉛直軸の微小回転

とする。

②地心直交座標（X, Y, Z）による観測方程式

$$\begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta X_2 \\ \delta Y_2 \\ \delta Z_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \delta X_1 \\ \delta Y_1 \\ \delta Z_1 \end{pmatrix} + M_\xi \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \xi + M_\eta \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \eta + M_\alpha \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \alpha + \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta X_{0b} \\ \Delta Y_{0b} \\ \Delta Z_{0b} \end{pmatrix}$$

（補正量）（未知量）（未知量）

（概算値）（観測値）

（注）測量地域の微小回転を推定しない場合は、 ξ 、 η 、 α の項は除く。

3) 観測の重み

①基線解析で求めた値による計算式

$$P = (\Sigma_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z})^{-1}$$

②水平及び高さの分散を固定値とした値による計算式

$$\Sigma_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z} = R^T \Sigma_{N, E, U} R$$

ただし、

P : 重量行列

$\Sigma_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}$: $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ の分散・共分散行列

$$\Sigma_{N, E, U} = \begin{pmatrix} d_N & 0 & 0 \\ 0 & d_E & 0 \\ 0 & 0 & d_U \end{pmatrix}$$

d_N : 水平面の南北成分の分散

d_E : 水平面の東西成分の分散

d_U : 高さ成分の分散

$$R = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{pmatrix}$$

φ, λ は、測量地域内の任意の既知点の緯度、経度値とする。

4) 平均計算

$$V = AX - L$$

$$(A^T P A) X = (A^T P L)$$

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P L$$

$$P = B^{-1} = \begin{pmatrix} \sigma_{\Delta X \Delta X} & \sigma_{\Delta X \Delta Y} & \sigma_{\Delta X \Delta Z} \\ \sigma_{\Delta Y \Delta X} & \sigma_{\Delta Y \Delta Y} & \sigma_{\Delta Y \Delta Z} \\ \sigma_{\Delta Z \Delta X} & \sigma_{\Delta Z \Delta Y} & \sigma_{\Delta Z \Delta Z} \end{pmatrix}^{-1}$$

ただし、

V : 偏差のベクトル

A : 未知数の係数行列

X : 未知数のベクトル

L : 定数項のベクトル

P : 重量行列

B : $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ の分散・共分散行列

とする。

(4) 平均計算後の観測値の単位重量当たりの標準偏差

$$m_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{V}^t \mathbf{P} \mathbf{V}}{3(m-n)}} \quad \begin{array}{ll} m & : \text{基線数} \\ n & : \text{未知点数} \end{array}$$

(5) 未知点座標の平均値の標準偏差

1) 地心直交座標

$$X \text{ の標準偏差} : \sigma_X = m_0 \sqrt{\sigma_{\Delta X \Delta X}}$$

$$Y \text{ の標準偏差} : \sigma_Y = m_0 \sqrt{\sigma_{\Delta Y \Delta Y}}$$

$$Z \text{ の標準偏差} : \sigma_Z = m_0 \sqrt{\sigma_{\Delta Z \Delta Z}}$$

2) 測地座標

$$\varphi \text{ の標準偏差} : \sigma_n = m_0 \sqrt{\sigma_{\varphi \varphi}} (M + h)$$

$$\lambda \text{ の標準偏差} : \sigma_e = m_0 \sqrt{\sigma_{\lambda \lambda}} (N + h) \cos \varphi$$

$$h \text{ の標準偏差} : \sigma_h = m_0 \sqrt{\sigma_{hh}}$$

ただし、

$$\sigma_{\varphi \varphi}, \sigma_{\lambda \lambda}, \sigma_{hh} : \text{重み係数行列の対角要素}$$

$$M : \text{子午線曲率半径}$$

$$N : \text{卯酉線曲率半径}$$

(6) ジオイド高算出のための補間計算

$$Z = (1 - t) \cdot (1 - u) \cdot Z_{(i,j)} + (1 - t) \cdot u \cdot Z_{(i,j+1)} + t \cdot (1 - u) \cdot Z_{(i+1,j)} + t \cdot u \cdot Z_{(i+1,j+1)}$$

$$t = \frac{\varphi - \varphi_i}{\varphi_{i+1} - \varphi_i} \quad u = \frac{\lambda - \lambda_j}{\lambda_{j+1} - \lambda_j}$$

ただし、

φ_i : i 格子の緯度

λ_j : j 格子の経度

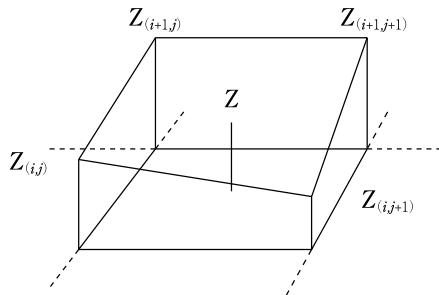
$Z_{(i,j)}$: (i,j) 格子のジオイド高

λ : 求点の経度

φ : 求点の緯度

Z : 求点のジオイド高

とする。



(注) 求点のジオイド高は、求点を最も近く取り囲む4格子のジオイド高から求める。

13. 座標を変換して経緯度、子午線収差角及び縮尺係数を求める計算

(1) 緯度 φ 及び経度 λ

$$\varphi = \chi + \rho'' \sum_{j=1}^6 \delta_j \sin 2j\chi, \quad \lambda = \lambda_0 + \tan^{-1} \left(\frac{\sinh \eta'}{\cos \xi'} \right)$$

(2) 子午線収差角 γ 及び縮尺係数 m

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{\tau' + \sigma' \tan \xi' \tanh \eta'}{\sigma' - \tau' \tan \xi' \tanh \eta'} \right), \quad m = \frac{\bar{A}}{a} \sqrt{\frac{\cos^2 \xi' + \sinh^2 \eta'}{\sigma'^2 + \tau'^2} \left\{ 1 + \left(\frac{1-n}{1+n} \tan \varphi \right)^2 \right\}}$$

ただし、

x, y : 新点の X 座標及び Y 座標

φ_0, λ_0 : 平面直角座標系原点の緯度及び経度

m_0 : 平面直角座標系の X 軸上における縮尺係数 (0.9999)

a, F : 楕円体の長半径及び逆扁平率

$$n = \frac{1}{2F-1}, \quad \xi = \frac{x + \bar{S}_{\varphi_0}}{\bar{A}}, \quad \eta = \frac{y}{\bar{A}}$$

$$\xi' = \xi - \sum_{j=1}^5 \beta_j \sin 2j\xi \cosh 2j\eta, \quad \eta' = \eta - \sum_{j=1}^5 \beta_j \cos 2j\xi \sinh 2j\eta$$

$$\sigma' = 1 - \sum_{j=1}^5 2j \beta_j \cos 2j\xi \cosh 2j\eta, \quad \tau' = \sum_{j=1}^5 2j \beta_j \sin 2j\xi \sinh 2j\eta$$

$$\beta_1 = \frac{1}{2}n - \frac{2}{3}n^2 + \frac{37}{96}n^3 - \frac{1}{360}n^4 - \frac{81}{512}n^5, \quad \beta_2 = \frac{1}{48}n^2 + \frac{1}{15}n^3 - \frac{437}{1440}n^4 + \frac{46}{105}n^5,$$

$$\beta_3 = \frac{17}{480}n^3 - \frac{37}{840}n^4 - \frac{209}{4480}n^5, \quad \beta_4 = \frac{4397}{161280}n^4 - \frac{11}{504}n^5, \quad \beta_5 = \frac{4583}{161280}n^5$$

$$\chi = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \xi'}{\cosh \eta'} \right)$$

$$\delta_1 = 2n - \frac{2}{3}n^2 - 2n^3 + \frac{116}{45}n^4 + \frac{26}{45}n^5 - \frac{2854}{675}n^6,$$

$$\delta_2 = \frac{7}{3}n^2 - \frac{8}{5}n^3 - \frac{227}{45}n^4 + \frac{2704}{315}n^5 + \frac{2323}{945}n^6,$$

$$\delta_3 = \frac{56}{15}n^3 - \frac{136}{35}n^4 - \frac{1262}{105}n^5 + \frac{73814}{2835}n^6, \quad \delta_4 = \frac{4279}{630}n^4 - \frac{332}{35}n^5 - \frac{399572}{14175}n^6,$$

$$\delta_5 = \frac{4174}{315}n^5 - \frac{144838}{6237}n^6, \quad \delta_6 = \frac{601676}{22275}n^6$$

$$\bar{S}_{\varphi_0} = \frac{m_0 a}{1+n} \left(A_0 \frac{\varphi_0}{\rho''} + \sum_{j=1}^5 A_j \sin 2j\varphi_0 \right), \quad \bar{A} = \frac{m_0 a}{1+n} A_0$$

$$A_0 = 1 + \frac{n^2}{4} + \frac{n^4}{64}, \quad A_1 = -\frac{3}{2} \left(n - \frac{n^3}{8} - \frac{n^5}{64} \right), \quad A_2 = \frac{15}{16} \left(n^2 - \frac{n^4}{4} \right),$$

$$A_3 = -\frac{35}{48} \left(n^3 - \frac{5}{16}n^5 \right), \quad A_4 = \frac{315}{512}n^4, \quad A_5 = -\frac{693}{1280}n^5$$

14. 経緯度を変換して座標、子午線収差角及び縮尺係数を求める計算

(1) X座標及びY座標

$$x = \bar{A} \left(\xi' + \sum_{j=1}^5 \alpha_j \sin 2j\xi' \cosh 2j\eta' \right) - \bar{S}_{\varphi_0}, \quad y = \bar{A} \left(\eta' + \sum_{j=1}^5 \alpha_j \cos 2j\xi' \sinh 2j\eta' \right)$$

(2) 子午線収差角 γ 及び縮尺係数 m

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{\tau \bar{t} \lambda_c + \sigma t \lambda_s}{\sigma \bar{t} \lambda_c - \tau t \lambda_s} \right), \quad m = \frac{\bar{A}}{a} \sqrt{\frac{\sigma^2 + \tau^2}{t^2 + \lambda_c^2} \left\{ 1 + \left(\frac{1-n}{1+n} \tan \varphi \right)^2 \right\}}$$

ただし、

φ, λ : 新点の緯度及び経度

φ_0, λ_0 : 平面直角座標系原点の緯度及び経度

m_0 : 平面直角座標系の X 軸上における縮尺係数 (0.9999)

a, F : 楕円体の長半径及び逆扁平率

$$n = \frac{1}{2F-1}, \quad \xi = \frac{x + \bar{S}_{\varphi_0}}{\bar{A}}, \quad \eta = \frac{y}{\bar{A}}$$

$$\bar{S}_{\varphi_0} = \frac{m_0 a}{1+n} \left(A_0 \frac{\varphi_0}{\rho''} + \sum_{j=1}^5 A_j \sin 2j\varphi_0 \right), \quad \bar{A} = \frac{m_0 a}{1+n} A_0$$

$$t = \sinh \left\{ \tanh^{-1} \sin \varphi - \frac{2\sqrt{n}}{1+n} \tanh^{-1} \left(\frac{2\sqrt{n}}{1+n} \sin \varphi \right) \right\}, \quad \bar{t} = \sqrt{1+t^2}$$

$$\lambda_c = \cos(\lambda - \lambda_0), \quad \lambda_s = \sin(\lambda - \lambda_0), \quad \xi' = \tan^{-1} \left(\frac{t}{\lambda_c} \right), \quad \eta' = \tanh^{-1} \left(\frac{\lambda_s}{\bar{t}} \right)$$

$$\sigma = 1 + \sum_{j=1}^5 2j\alpha_j \cos 2j\xi' \cosh 2j\eta', \quad \tau = \sum_{j=1}^5 2j\alpha_j \sin 2j\xi' \sinh 2j\eta'$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{2}n - \frac{2}{3}n^2 + \frac{5}{16}n^3 + \frac{41}{180}n^4 - \frac{127}{288}n^5, \quad \alpha_2 = \frac{13}{48}n^2 - \frac{3}{5}n^3 + \frac{557}{1440}n^4 + \frac{281}{630}n^5,$$

$$\alpha_3 = \frac{61}{240}n^3 - \frac{103}{140}n^4 + \frac{15061}{26880}n^5, \quad \alpha_4 = \frac{49561}{161280}n^4 - \frac{179}{168}n^5, \quad \alpha_5 = \frac{34729}{80640}n^5$$

15. ヘルマート変換

X座標及びY座標のシフト量、回転、スケールファクターの変換パラメーターを求め、座標変換補正量を求める。座標変換補正量は、次式から導く。

$$\Delta X_z = x + S \cos \theta \cdot X - S \sin \theta \cdot Y$$

$$\Delta Y_z = y + S \sin \theta \cdot X + S \cos \theta \cdot Y$$

ただし、 x ：X座標の平行移動量

y ：Y座標の平行移動量

S ：スケールファクター

θ ：回転量

X 、 Y ：平面直角座標

16. その他

本計算式のほか、これと同精度又はこれを上回る精度を有することが確認できる場合には、当該計算式を使用することができる。