

## 2級TSを使用する多角測量における点検計算等の許容範囲

測量近代化研究会

### 多角測量の点検計算の許容範囲

《結合及び単路線》

$$\text{多角路線の端末点の水平位置の誤差} = \sqrt{M_0^2 + (\Sigma S)^2 \bar{m}_0^2 + M_n^2}$$

$M_0$ : 既知点の水平位置の誤差、 $\bar{m}_0$ : 既知点の平均方向角の誤差、 $S$ : 路線長、 $M_n$ : 多角測量の端末点での測定誤差

▶ 許容範囲は既知点誤差と測定誤差に分けて設定

#### 1. 既知点誤差

$$\text{既知点誤差} = \sqrt{2M_0^2 + (\Sigma S)^2 \bar{m}_0^2}$$

$\sqrt{2}M_0$ : 出発点と結合点の2点分の誤差  
 $\Sigma S \bar{m}_0$ : 出発点の方向角取付方向の誤差

▶ 「作業規程の準則」の既知点誤差: 水平10cm (1・2級)

▶ 電子基準点を使用した基準点測量の位置誤差を検討

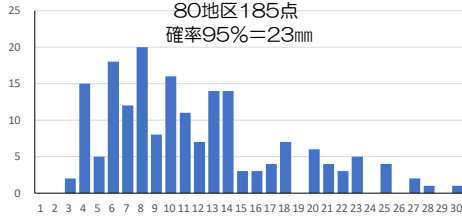
- 電子基準点による2級及び3級基準点測量の標準偏差
- 方向角取付けは省略するため誤差は考慮しない

## 電子基準点を既知点とした基準点の位置誤差の検討

公共測量における2級及び3級基準点の標準偏差の分布

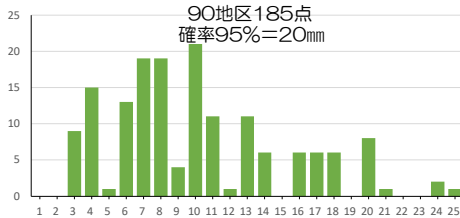
### 2級基準点

標準偏差（水平MS）の分布  
80地区185点  
確率95%=23mm

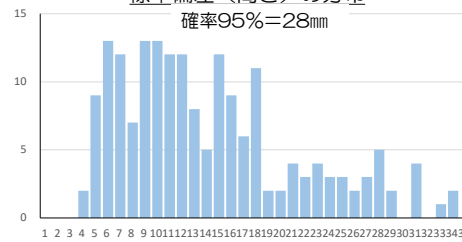


### 3級基準点

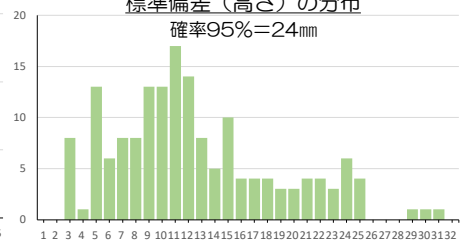
標準偏差（水平MS）の分布  
90地区185点  
確率95%=20mm



標準偏差（高さ）の分布  
確率95%=28mm



標準偏差（高さ）の分布  
確率95%=24mm



水平： $\sqrt{2} \times 20\text{mm} \doteq 25\text{mm}$  高さ： $\sqrt{2} \times 25\text{mm} \doteq 35\text{mm}$

## 多角測量の点検計算の許容範囲

### 2. 測定誤差

《開放多角測量の端末点における位置の標準偏差（一般式）》

$$M_n^2 = n \cdot dS^2 + \sum_{k=1}^n kS_k^2 d\beta^2 + 2 \cdot \sum_{k=1}^{n-1} kS_k \sum_{j=k+1}^n S_j \cos(T_j - T_k) d\beta^2$$

《結合及び単路線》

$$\begin{aligned} \text{位置誤差} &= \sqrt{n \cdot dS^2 + n(n+1)(2n+1)/6 \cdot S^2 d\beta^2} \doteq 14\text{mm} \sqrt{n} \Sigma S \\ &14\text{mm} \times 2.4 \doteq 35\text{mm}, \text{既知点誤差: } 25\text{mm} \\ \blacktriangleright \text{許容範囲} &: 25\text{mm} + 35\text{mm} \sqrt{n} \Sigma S \end{aligned}$$

《単位多角形》

$$\begin{aligned} \text{位置誤差} &= \sqrt{n \cdot dS^2 + \frac{n}{2} \cdot \left\{ 1 + \cot^2 \left( \frac{\pi}{n} \right) \right\} \cdot S^2 d\beta^2} \\ &= \Sigma S \cdot \sqrt{n \left( \frac{dS}{\Sigma S} \right)^2 + n \left\{ \frac{1}{6n^2} + \frac{1}{2n^2} \right\} \cdot d\beta^2} \doteq 6\text{mm} \sqrt{n} \Sigma S \\ &6\text{mm} \times 2.4 \doteq 15\text{mm} \\ \blacktriangleright \text{許容範囲} &: 15\text{mm} \sqrt{n} \Sigma S \end{aligned}$$

【計算の要素】1夾角の測角精度 $d\beta = 4.9''$ 、路線長 $\Sigma S = 700\text{m}$ 、測距精度 $dS = 1.5\text{mm}$

## 多角測量の許容範囲の検討

### 3. 標高の許容範囲

高度角観測と器械高・目標高の不確かさ →  $m_\alpha : 4.3''$   
 $\Sigma S$  : 路線長

$$\text{観測比高の誤差} = m_\alpha \cdot \Sigma S / \sqrt{n} \doteq 21 \text{mm} \Sigma S / \sqrt{n}$$

$$21 \text{mm} \times 3 \doteq 60 \text{mm}$$

《結合及び単路線》 許容範囲 :  $35 \text{mm} + 60 \text{mm} \Sigma S / \sqrt{n}$

《単位多角形》 許容範囲 :  $60 \text{mm} \Sigma S / \sqrt{n}$

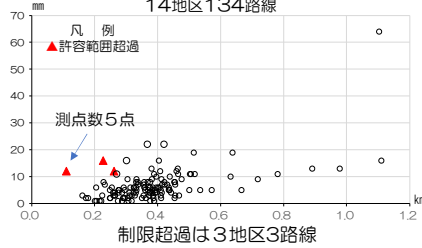
参考

四等三角点 :  $m_\alpha = 4''$  → 許容範囲 :  $50 \text{mm} \Sigma S / \sqrt{n}$

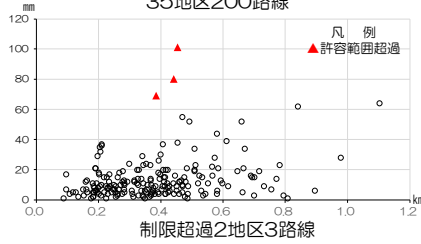
## 4級基準点測量（2級TS）における検証結果

【水平】

単位多角路線閉合差  
14地区134路線

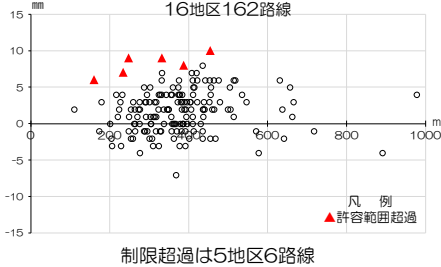


結合多角路線閉合差  
35地区200路線

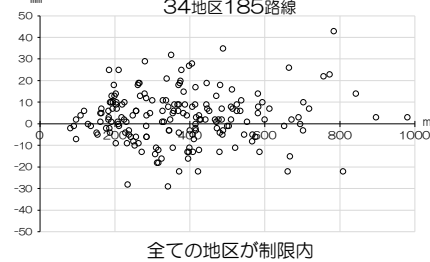


【標高】

単位多角路線閉合差  
16地区162路線



結合多角路線閉合差  
34地区185路線



## 観測の点検計算の許容範囲 まとめ

1. 作業規程の準則に定める許容範囲では精度管理としては適さない。
2. 2級トータルステーションの測角及び距離測定精度を基に許容範囲を設定。

### 1) 水平位置の閉合差

- ①結合多角・単路線  $25\text{mm}+35\text{mm}\sqrt{n}\Sigma S$  (  $150\text{mm}+100\text{mm}\sqrt{n}\Sigma S$  )
- ②単位多角  $15\text{mm}\sqrt{n}\Sigma S$  (  $50\text{mm}\Sigma S\sqrt{n}$  )

### 2) 標高の閉合差

- ①結合多角・単路線  $35\text{mm}+60\text{mm}\Sigma S/\sqrt{n}$  (  $200\text{mm}+300\text{mm}\Sigma S/\sqrt{n}$  )
- ②単位多角  $60\text{mm}\Sigma S/\sqrt{n}$  (  $300\text{mm}\Sigma S/\sqrt{n}$  )

( )は4級基準点測量の許容範囲

## 多角測量の厳密網平均計算の許容範囲

「作業規程の準則」に定める平均計算の許容範囲の項目

1. 一方向及び高低角の残差
2. 距離の残差
3. 水平角及び高低角の単位重量あたりの標準偏差
4. 新点の標準偏差



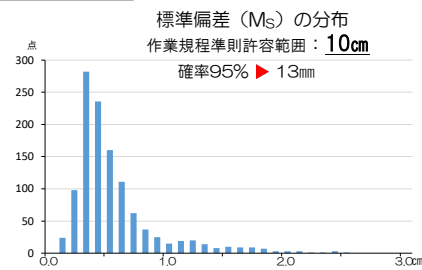
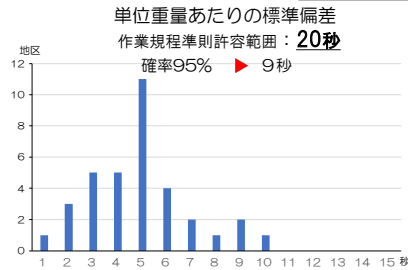
- ▶ 2級トータルステーションの観測精度
  - ▶ 電子基準点を既知点とする測量成果の位置精度
- これらに応じた各項目の許容範囲を設定

## 厳密水平網平均計算の許容範囲の検討

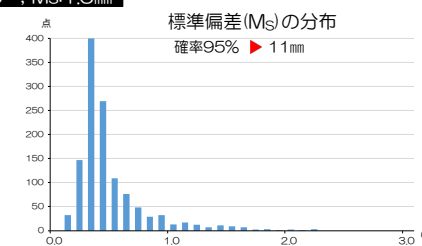
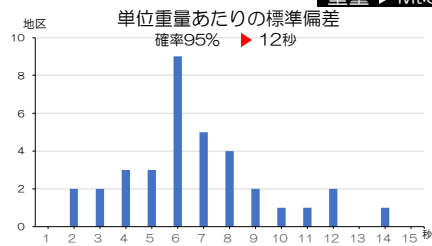
作業規程の準則に規定する4級基準点測量の重量と2級トータルステーションの測角・測距性能を重量とする平均計算との比較

4級基準点測量（35地区）XY厳密網平均計算結果

重量 ▶ Mt:13.5", Ms:10mm

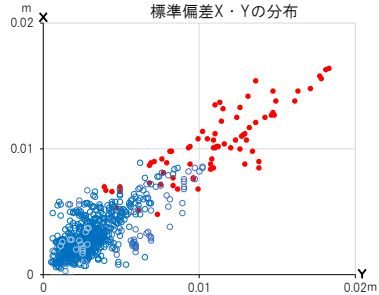
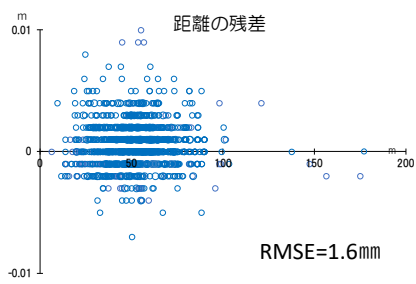


重量 ▶ Mt:3.5", Ms:1.5mm

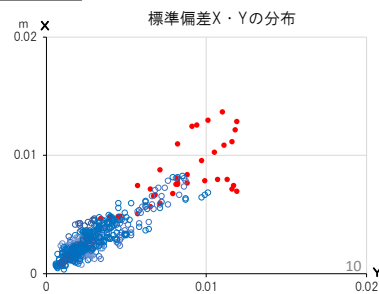
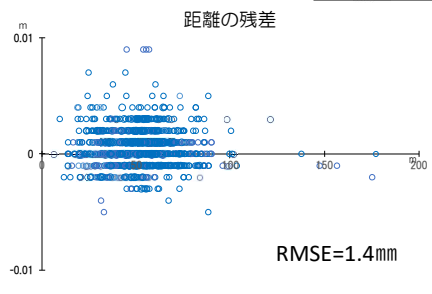


## 4級基準点測量XY厳密網平均計算結果

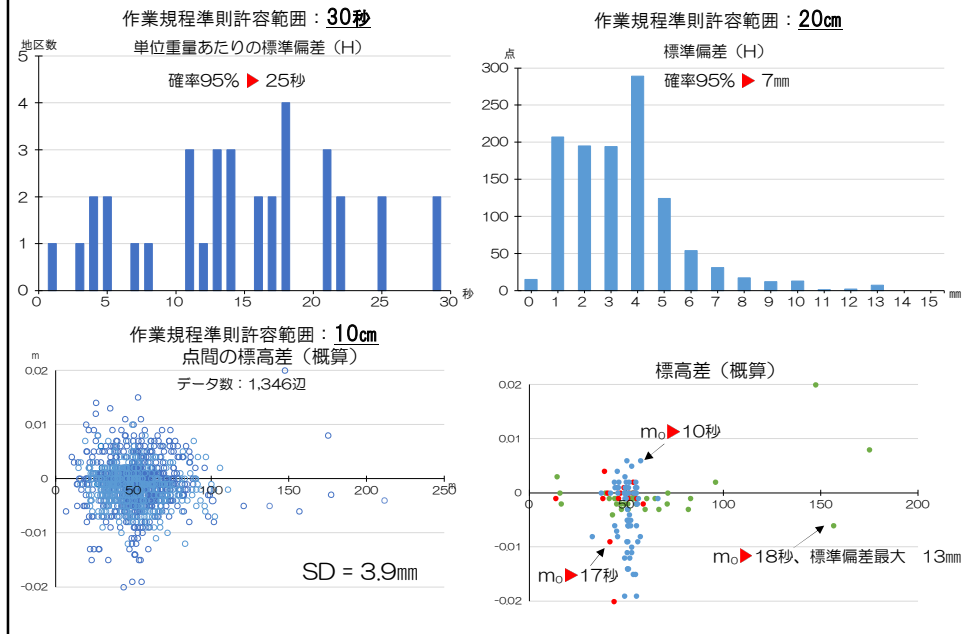
重量 ▶ Mt 13.5", Ms 10mm



重量 ▶ Mt 3.5", Ms 1.5mm



### 4級基準点測量（35地区）厳密網平均計算（高さ）結果



### 厳密水平網平均計算（水平及び高さ）の許容範囲 まとめ

1. 作業規程の準則に定める許容範囲では精度管理基準としては適さない項目がある。
2. 許容範囲の設定項目は作業規程の準則を踏襲する。
3. 平均計算結果を基に許容範囲を以下のとおり設定
  - ①水平角の単位重量当たりの標準偏差 ▶ 15秒（20秒）
  - ②新点位置の標準偏差 ▶ 2cm（10cm）
  - ③高低角の単位重量当たりの標準偏差 ▶ 30秒（30秒）
  - ④新点標高の標準偏差 ▶ 2cm（20cm）

（ ）は作業規程準則の許容範囲