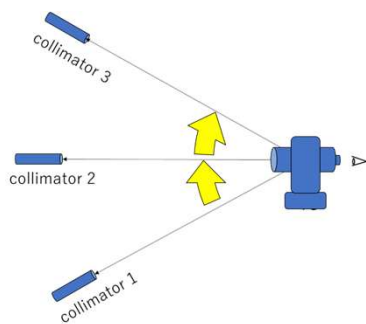


高低角観測の不確かさの推計

1

1. 高低角の検定データの分析

- 2018年度と2019年度で測量技術センターにおいて実施したトータルステーション機器検定の結果
- 準則の測量機器検定基準（2級セオドライト）：高度定数の較差は30”
- 検定の実態：高度定数の最大較差は15”



高度定 数較差	10"読み	5"読み	1"読み	1級TS
0~5	68.4%	91.1%	90.4%	100.0%
0~6	68.4%	91.1%	93.9%	100.0%
0~7	68.4%	91.1%	95.6%	100.0%
0~8	68.4%	91.1%	97.7%	100.0%
0~9	68.4%	91.1%	98.5%	100.0%
0~10	100.0%	99.1%	99.4%	100.0%
0~15	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

2

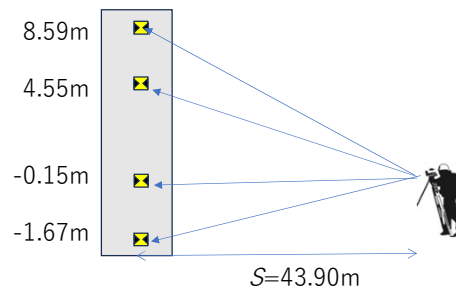
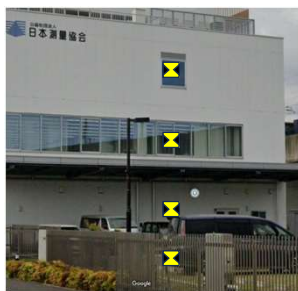
高度定数の較差と高低角観測の不確かさの関係

- 高低角観測の正観測と反観測の読みをそれぞれ r, l とし、1視準の標準偏差を σ_s とする
 - 高度定数を $2K$ 、その標準偏差を σ_{2K}
 - 高低角観測値（正反の平均値）を v 、観測値の標準偏差を σ_v
 - 高度定数： $2K = r + l - 360^\circ$ ，標準偏差： $\sigma_{2K} = \sqrt{2}\sigma_s$
 - 高低角観測値： $v = (l - r) / 2 - 90^\circ$ ，標準偏差： $\sigma_v = \sigma_s / \sqrt{2} = \sigma_{2K} / 2$
- JIS Z 9020-2（シューハート管理図）を適用、高度定数の上側管理限界は
 - $U_{CL}(2K) = D_2 * \sigma_{2K} = D_2 * \sqrt{2} \sigma_s = D_2 * 2\sigma_v$
- 検定結果から上側管理限界を $U_{CL}(2K) = 15''$ と設定すると、
 - $D_2 * \sqrt{2} \sigma_s = 15''$
 - $\sigma_s = 2.4'', \sigma_v = 1.7'' \quad \because D_2 = 4.358 (n=3 \text{ のとき})$
- 1視準の標準偏差 $2.4''$ は水平角の検定データの $1.7''$ よりも大きい。
- 1高低角観測値（1対回）の標準偏差 $1.7''$ は、水平角の検定データの1夾角1対回観測値の標準偏差と同じ。

3

2. 高低角観測の野外実験観測

- つくば技術センターで2024年6月25日に実施
 - 4方向（4視準点）・正反1対回観測・10セットの観測を観測者を代えて計3回行い、合計240読定。



4

野外実験観測の高度定数

- 高度定数較差の平均値と最大値は3人の観測者でほぼ等しい
 - これを品質管理の指標とすることが妥当であることを示唆

観測者	指標	平均値	最大値
K	高度定数の較差	15.5	25
	高度定数の標準偏差	7.8	10.4
N	高度定数の較差	13.5	25
	高度定数の標準偏差	7.0	10.4
F	高度定数の較差	16	25
	高度定数の標準偏差	8.1	11.9
全観測者	高度定数の較差	15	25
	高度定数の標準偏差	7.6	11.9

5

実験観測から得た高度定数較差の妥当性

- 高度定数の標準偏差（全観測者平均）7.6”とシューハートの管理図係数 $D_2=4.6982$ を用いて
 - 高度定数の較差の上側管理係数 $U_{CL}=36$ ”、その平均値は16”
 - 平均値は実験で得た15”とほぼ等しい
 - U_{CL} は実験で得た最大値25”に対して11”大きい
- 準則における2級、3級基準点の鉛直角観測の高度定数較差の許容範囲は30”であり、実験から得た較差最大値25”とシューハートの管理図係数から推測した上側管理係数の値36”を考慮すると、現行の許容範囲は変更の必要はないと考えられる。

6

野外実験の高低角観測の不確かさ

- 観測者KとNの間で高低角観測の標準偏差が有意に異なる結果 (F検定)
- 平均高低角が観測者と視準点の組み合わせにより有意に異なる結果 (t検定)

- K-N: B, C
- K-F: B, C
- N-F: B

観測者	視準点	高低角	平均 (")	標準偏差
K	A	-2° 10'	50.5	6.0
	B	-0° 11'	46.7	2.6
	C	5° 55'	8.7	4.4
	D	11° 04'	20.9	3.4
観測者Kの全視準点平均SD				4.3
N	A	-2° 10'	51.7	3.2
	B	-0° 11'	43.1	2.9
	C	5° 55'	14.8	2.5
	D	11° 04'	22.7	3.4
観測者Nの全視準点平均SD				3.0
F	A	-2° 10'	52.7	3.1
	B	-0° 11'	49.5	3.4
	C	5° 55'	13.3	3.0
	D	11° 04'	21.0	3.5
観測者Fの全視準点平均SD				3.3
全観測者・全視準点平均				3.6

7

実験観測による高低角観測の不確かさ

- 視準点A,B,C,Dごとの平均高低角を、各観測者、各視準点ごとに重量をつけて全観測者の平均値を求める。

視準点	高低角	重量平均 (")
A	-2° 10'	52.0
B	-0° 11'	46.2
C	5° 55'	13.3
D	11° 04'	21.5

- 重量平均値を各視準点の高低角の基準値とみなして、それからの較差を個人差を含む較差として再計算し、そのRMSEを求める。

観測者	視準点	RMSE	観測者	視準点	RMSE	観測者	視準点	RMSE
K	A	5.9	N	A	3.0	F	A	3.0
	B	2.5		B	4.2		B	4.6
	C	6.2		C	2.8		C	2.9
	D	3.3		D	3.5		D	3.4
全目標		4.8	全目標		3.4	全目標		3.5
全観測者・全視準点			3.9					

- 3.9"が個人差を含む高低角観測の不確かさであると考えられる。

8

3. 器械高と目標高の不確かさの影響

- 器械高と目標高のそれぞれの不確かさを1mmの矩形分布とすると、その標準偏差は $1/\sqrt{12}=0.29\text{mm}$
- 点間距離を50mと想定すると、器械高と目標高の合成で1.7”の不確かさ
- 高低角観測値と器械高、目標高の合成不確かさは $\sqrt{(3.9^2+1.7^2)}=4.3$ ”と推計
 - この値は、四等三角点の高低角の標準偏差4”に近い。
- 50m先の目標に対して、1.0 mmの不確かさに相当する。
- 作業規程の準則 第41条第2項 「TS等で観測を行った標高の計算は、0.01メートル位までとすることができる。」
- ▶4級基準点測量に相当する点間距離では不確かさは1mmであるので、TS観測においても標高の計算は0.001メートル位までとするのが適切

9

4. まとめ

- 準則の測量機器検定基準：高度定数の較差の許容範囲は30”
 - ▶機器検定の実態に合わせて、15”に変更する
- 準則の鉛直角観測：高度定数の較差の許容範囲は30”
 - ▶実験観測の結果から、変更の必要はない
- 実験観測による高低角観測の不確かさ
 - ▶個人差を含めて、3.9”と推計
 - ▶器械高と目標高の不確かさまで含めると、4.3”と推計
 - ▶標高の計算は0.001メートル位までとするのが適切

10