

使用機器の現状分析

機器検定に基づく分析：トータルステーション

2級トータルステーション 2019年度機器検定データからわかること

- 2級TSの占める割合
- 2級TSの最小目盛値の設定
- 水平角の検定データによる測角の制限値の妥当性
 - 3方向3対回を2セットとする観測
 - 各セットの倍角差、観測差、セット間較差、合焦較差
- 測距の検定データによる測距の制限値の妥当性
 - 2018年度のデータも2019年度と同様の傾向を示すが、年度間で統計的に有意な差が生じる値もある。特に測距検定で大きい差が見られた。
 - 測距検定の場所と方法を2018年度の途中で変更したことに原因がある。変更後の測距検定は400m基線において2019年度とは有意な差はない。

使用機器の仕様の現状

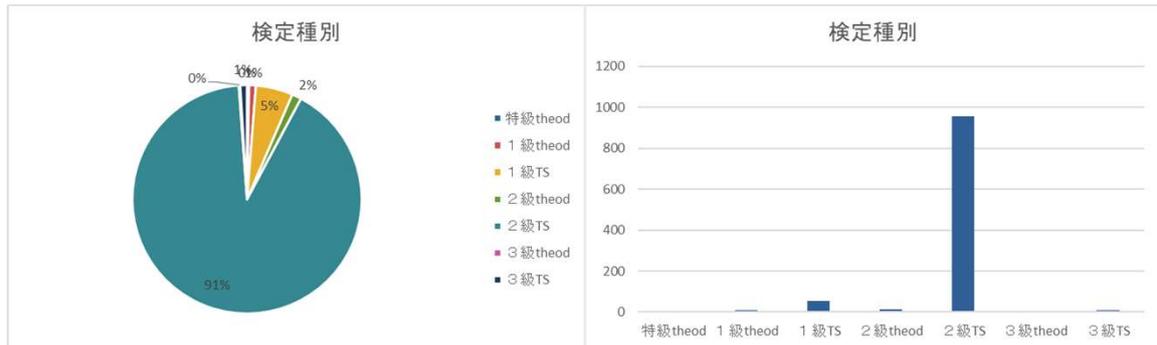
トータルステーション

概要

- TSの性能基準、機器検定基準、観測の許容範囲は昭和52年（1977年）以来、ほとんど変わっていない
- 機器検定を実施したTSの91%は2級TS、測角の最小目盛値は5”または1”の設定が大半（性能基準では10”以下と規定）
- 2級TSの測距精度はメーカー公称値で $1\sim 2\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D$ が大半（性能基準では $5\text{mm} + 5\text{ppm} \cdot D$ 以下と規定）
 - 同一機器の同一基線における再現性は $\pm 1\text{mm}$

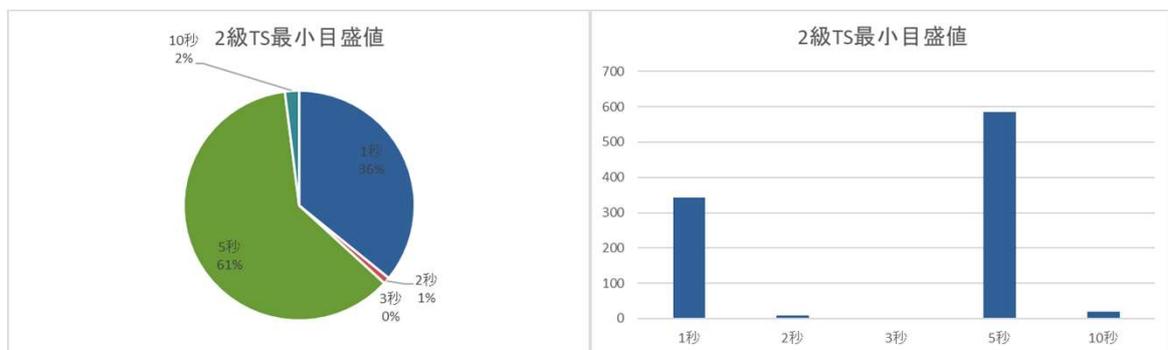
～2019年度機器検定データから～
 検定台数の91%が2級TS

- 全検定台数は1052台
- 2級TSは956台、1級TSは55台



2級TSのうち5秒読みと1秒読みが圧倒的多数

- 1秒読みが343台 (36%)、5秒読みが585台 (61%)
- 性能基準に定める10秒読みは19台 (2%)



2級トータルステーション 作業規程の準則における性能基準

- 測角部（2級セオドライトに準ずる）
 - 最小目盛値 水平10秒以下、鉛直10秒以下
 10秒 10秒
 - 気泡管公称感度 水平30秒／目盛以下、高度30秒／目盛以下
 記載なし
- 測距部（2級中距離型／短距離型測距儀に準ずる）
 - 公称測定精度 $\pm (5\text{mm} + 5 \cdot 10^{-6} \cdot D)$ 以下（中距離型2km以上、短距離型1km以上）
 $\pm (10\text{mm} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D)$ （長距離測定型(2km以上)）
 $\pm 20\text{mm} \sim \pm 30\text{mm}$ （短距離測定型(2km以下)）

赤文字は昭和52年建設省公共測量作業規程による

7

2級TS 仕様比較

(2018、2019年度検定において台数の多かった機種)

	ソキア	トプコン	ニコン・トリ ンブル	ライカ・ジオシ ステムズ	TIアサヒ	
	FX-105	GT-505	S6 5" DR Plus	TS15(5秒)	R-450NM	
望遠鏡倍率		30	30	30	30	
分解能 (")		2.5	2.5 記載なし	記載なし	3	
対物口径 (mm)		45	38	40	45	
測角最小表示 (")		5/10	1/5	1/5/10	0.1*	5/10
測角公称精度 (")		5	5	5	1/3/5*	5
測距可能距離 (m)prism 1素子		4000	5000	5500	3500	7000
測距公称精度 (mm)prism	2+2ppm*D	1+2ppm*D	2+2ppm*D	1+1.5ppm*D	2+2ppm*D	
測距公称精度 (mm)non-prism	3+2ppm*D	2+2ppm*D	2+2ppm*D	2+2ppm*D	5+2ppm*D	
求心装置 (光学)	(3倍)	(3倍)	(2.3倍)	記載なし	記載なし	
求心装置 (レーザー)	1.0mm @1.3m	1.0mm @1.3m	記載なし	1.5mm @1.5m	記載なし	
円形気泡	10' / 2mm	10' / 2mm	8' / 2mm	6' / 2mm	8" / 2mm*	
電子気泡管分解能	6'/内円上	6'/内円上	0.3"*	記載なし	40"/目盛	

* はカタログ記載通り

8

最近の市販2級トータルステーションの仕様

- 測角部
 - 性能基準の「最小目盛値10秒以下」ではTSの望遠鏡の分解能3秒が生きない
 - 市販TSの最小目盛値は切り替えにより10秒より小さくできる
- 測距部
 - 性能基準の「 $5\text{mm}+5\text{ppm}\cdot D$ 以下」は市販TSの性能を反映していない

機器検定データに見るTSの性能

2018年度と2019年度において日本測量協会測量技術センター（つくば）において実施した機器検定データ結果（検定合格したものに限り）に基づく

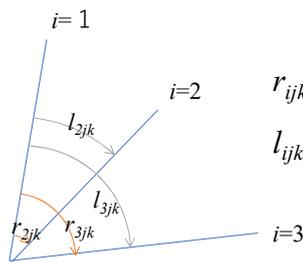
2級トータルステーション 作業規程の準則における機器検定基準

- 水平角の精度基準（3方向を3対回2セット観測による）
 - 倍角差30秒、観測差20秒、セット間較差12秒
 30秒 20秒 12秒
- 鉛直角の精度基準（3方向を1対回観測による）
 - 高度定数の較差30秒
 30秒
- 合焦による視準線の偏位 10秒
 記載なし
- 測距部の許容範囲（基線長との比較） 15mm
 30mm

赤文字は昭和52年建設省公共測量作業規程による

11

（参考）観測差、倍角差の説明



r_{ijk} : 望遠鏡正(右), i 方向, j 対回, k セット $i=2,3; j=1,2,3; k=1,2$

l_{ijk} : 望遠鏡反(左), i 方向, j 対回, k セット

$$\text{較差 } d_{ijk} = r_{ijk} - l_{ijk}$$

$$\text{観測差 } D_{ik} = d_{ijk}|_{j:\max} - d_{ijk}|_{j:\min}, i = 2,3; k = 1,2$$

$$\text{倍角 } b_{ijk} = r_{ijk} + l_{ijk}$$

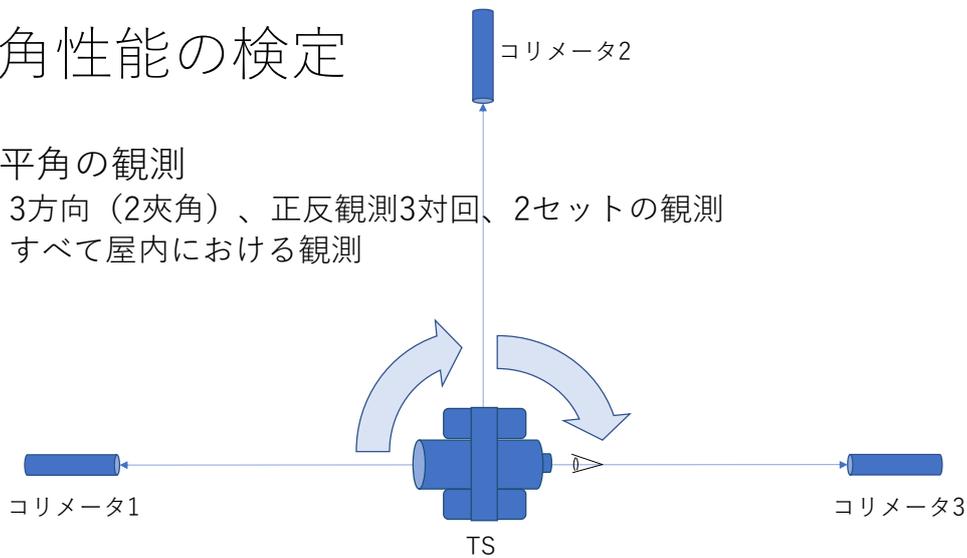
$$\text{倍角差 } B_{ik} = b_{ijk}|_{j:\max} - b_{ijk}|_{j:\min}, i = 2,3; k = 1,2$$

$$\text{セット間較差 } S_i = \left| \frac{1}{3} \sum_j \frac{r_{ij1} + l_{ij1}}{2} - \frac{1}{3} \sum_j \frac{r_{ij2} + l_{ij2}}{2} \right|, i = 2,3$$

12

測角性能の検定

- 水平角の観測
 - 3方向（2夾角）、正反観測3対回、2セットの観測
 - すべて屋内における観測



水平角の検定データの分析 (1)

- 市販TSの現在の實力に見合った観測差の制限を求める
 - 最小目盛値により観測差の分布が明らかに異なる
 - ⇒ 最小目盛値が同じ機器は同じ観測差の母集団に属すると仮定
 - ⇒ 最小目盛別に全台数の観測差の平均値と標準偏差、最大値を計算

	10"読み	5"読み	1"読み	1級TS
平均値	5.1	4.6	2.9	2.2
標準偏差	5.3	3.3	2.0	1.2
最大値	20	20	15	5

観測差の分布



- 観測差の99%が10秒以内
- 5"読みと1"読みに限ると、ほぼ100%が15秒以内
 - 準則の制限値20秒は過大
- 野外での測定ではこれより劣化が予想されるが、制限値としては15秒 (3 σ 相当) が適切
 - 野外での検証が必要

	10"読み	5"読み	1"読み	1級TS
0~10	98.7%	99.2%	99.4%	100.0%
0~15	98.7%	99.96%	100.0%	100.0%
0~20	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

15

水平角の検定データの分析 (2)

- 市販TSの現在の實力に見合った倍角差の制限を求める
 - 最小目盛値により倍角差の分布が明らかに異なる
 - ⇒ 最小目盛値が同じ機器は同じ倍角差の母集団に属すると仮定
 - ⇒ 最小目盛別に全台数の倍角差の平均値と標準偏差、最大値を計算

	10"読み	5"読み	1"読み	1級TS
平均値	5.1	5.1	3.1	2.9
標準偏差	5.8	3.6	2.1	1.8
最大値	20	20	18	9

16

倍角差の分布



- 5"読みと1"読みに限ると、倍角差のほぼ100%が15秒以内
 - 準則の制限値30秒は過大
- 倍角差の平均値、標準偏差が観測差のそれより大きいことを考慮しても、制限値としては15秒として問題ないと予想
 - 野外での検証が必要

	10"読み	5"読み	1"読み	1級TS
0~10	96.1%	98.2%	99.1%	100.0%
0~15	96.1%	99.8%	99.9%	100.0%
0~20	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

17

水平角の検定データの分析 (3)

- 市販TSの現在の實力に見合ったセット間較差の制限を求める
 - 最小目盛値によりセット間較差の分布が明らかに異なる
 - ⇒ 最小目盛値が同じ機器は同じセット間較差の母集団に属すると仮定
 - ⇒ 最小目盛別に全台数のセット間較差の平均値と標準偏差、最大値を計算

	10"読み	5"読み	1"読み	1級TS
平均値	1.16	1.10	0.74	0.59
標準偏差	1.28	1.02	0.74	0.61
最大値	4	7	4	2

18

機器1台当たり2つのセット間較差

- 3方向（2夾角）、3対回、2セットの観測
- 1台当たり2夾角のセット間較差
- セット間較差のほぼすべてが6秒以内が存在する。
- 許容範囲12秒は過大



19

合焦較差

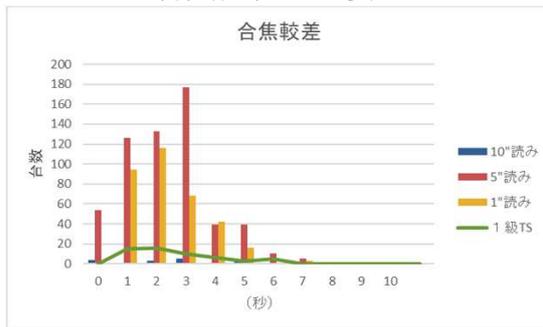
- 視準点の距離を5m, 10m, 無限大(∞)に変えた場合の合焦により生じる視準線の偏り。2級TSの検定の許容範囲は10秒。
- 3つの距離ごとに望遠鏡正と反の読定値の差を5対回分求め、各距離ごとの5つの平均値をとる
- 3つの距離ごとの視準線の偏位（望遠鏡正と反の読定値の差の $1/2$ ）を得て、それらの最大値と最小値の差を較差とする
- 合焦誤差は視準軸誤差の要素の一部

合焦較差	平均	標準偏差	最大値
10"読み	2.6	2.0	6
5"読み	2.1	1.5	10
1"読み	2.0	1.4	9.4
1級TS	2.2	1.6	5.9

20

合焦較差の分布

- 合焦較差は0"から8"まで多くの器械が分布、制限値ちょうど(10")の器械もある
- 正反の平均値を取ることで消去される誤差
 - 正反観測を行う限りは制限値の変更は不要；仮に正反観測を行わないなら制限強化が必要



(参考)

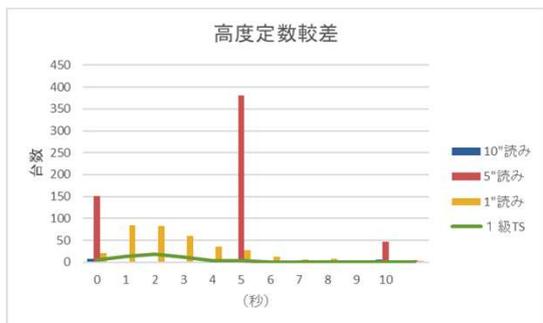
5"の視準線偏位⇒200m先で4.8mmの位置偏位
10"の視準線偏位⇒200m先で9.6mmの位置偏位

合焦較差	10"読み	5"読み	1"読み	1級TS
0~5	94.7%	97.1%	98.0%	90.9%
0~6	100.0%	98.8%	98.3%	100.0%
0~7	100.0%	99.7%	99.1%	100.0%
0~8	100.0%	99.8%	99.4%	100.0%

21

鉛直角の検定データの分析

- 高度角の3方向(+30°, 0°, -30°) 1対回の3つの高度定数のうち、最大値と最小値の差。
 - 15"以内にすべて収まる
 - 準則における観測の許容範囲(30")は過大であり、15"が適切

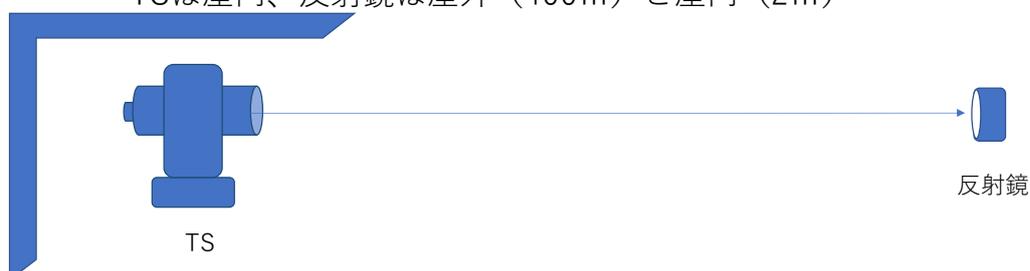


高度定数較差	10"読み	5"読み	1"読み	1級TS
0~5	68.4%	91.1%	90.4%	100.0%
0~6	68.4%	91.1%	93.9%	100.0%
0~7	68.4%	91.1%	95.6%	100.0%
0~8	68.4%	91.1%	97.7%	100.0%
0~9	68.4%	91.1%	98.5%	100.0%
0~10	100.0%	99.1%	99.4%	100.0%
0~15	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

22

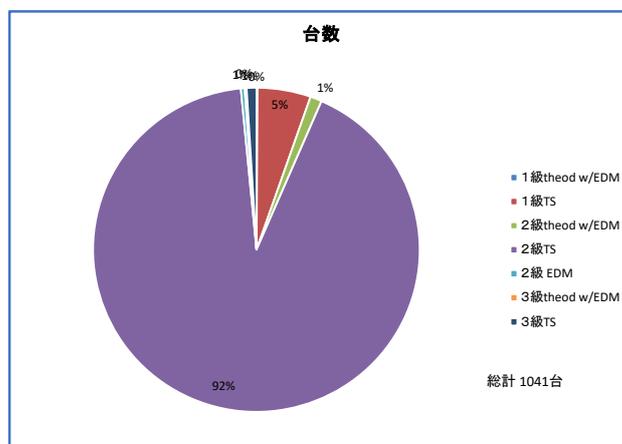
測距性能の検定

- 距離の測定
 - 400m基線及び2m基線における測定値と基準値との較差
 - 基準値は標準機による測定値
 - 400m基線は、日々の検定前後に標準機で測定した距離の平均を基準値としている
 - 2m基線は、ピラーをボルトで固定していることから、標準機での更新は2019年5月以降実施していない。
 - 400m基線では5測定、2セットの測定
 - 2m基線では5測定、1セットの測定
 - TSは屋内、反射鏡は屋外（400m）と屋内（2m）



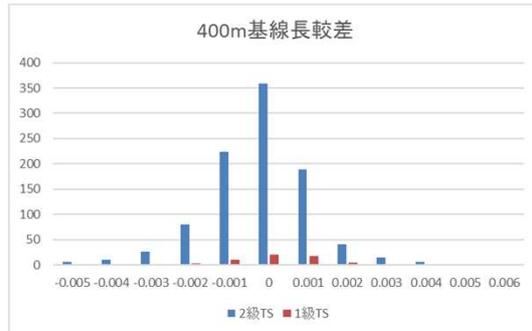
採用したデータ 2019年度の機器検定データ

1級TS 55台、2級TS 957台

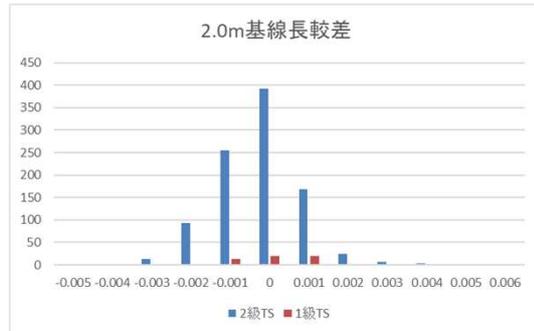


測距データ

- 基準値との較差の平均値は最大で0.2mm、その標準偏差は最大で1.3mm



	2級TS	1級TS
平均値	-0.2	0.2
標準偏差	1.3	1.0



	2級TS	1級TS
平均値	-0.2	0.0
標準偏差	1.1	1.0

25

測距データ

- ほぼ99%の機器について測距の基準値からの較差が±4mm以内に収まる

2019年度	400m基線長較差		2.0m基線長較差	
	2級TS	1級TS	2級TS	1級TS
-2~+2mm	93.2%	100.0%	97.6%	98.2%
-3~+3mm	97.5%	100.0%	99.7%	100.0%
-4~+4mm	99.2%	100.0%	100.0%	100.0%
-5~+5mm	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%
-6~+6mm	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

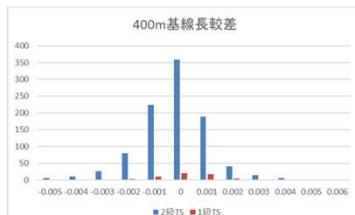
26

測距データの年度間比較から明らかになった問題

- 2018年度の2m基線の基準値に誤差があると推測

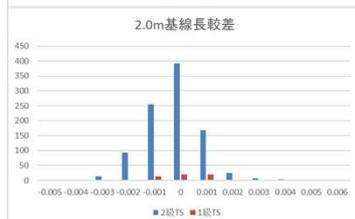
2019年度の較差

	2級TS	1級TS
平均値	-0.2	0.2
標準偏差	1.3	1.0



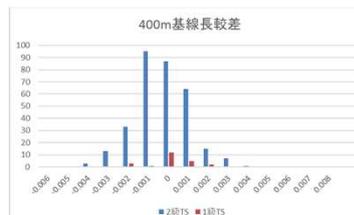
	2級TS	1級TS
平均値	-0.2	0.0
標準偏差	1.1	1.0

1級TS 55台、2級TS 957台



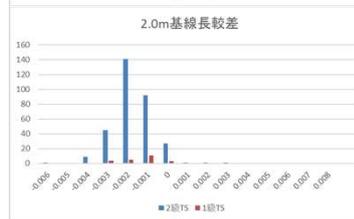
2018年度の較差

	2級TS	1級TS
平均値	-0.3	0.1
標準偏差	1.3	1.1



	2級TS	1級TS
平均値	-1.7	-1.4
標準偏差	1.0	0.9

1級TS 23台、2級TS 318台



27

2級TSの測距の実力

- 測距データの基準値からの較差の平均値は、いずれの級、いずれの距離においても1mm未満である。
- 測距データの標準偏差は、いずれの級、いずれの距離においても2mm未満である。
- 性能基準としては標準偏差で $2\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D$ が、検定基準としては5mm（または6mm）の許容範囲が現行市販機の実力と考えられる。
 - 準則の検定基準では許容範囲は15mm
 - 準則の性能基準では $5\text{mm} + 5\text{ppm} \cdot D$ 以下と規定
- 基準値にも誤差が含まれることがあり得るので、不確かさの見積もりには基準値の誤差も考慮する必要がある。

28