

TS の測角部（トランシット：セオドライト）の水平角観測に関する誤差

＜試験合格へのポイント＞

TS（トランシット又は、セオドライト）の水平角観測における誤差に関する問題である。定番問題の一つであり基本的には、誤差の名称と消去法（できれば原因）を覚えておけば、解答できるものが殆どである。原理を覚えるのではなく、「TS の器械誤差について（まとめ）」の表について覚えれば良い。

（★★★★：最重要事項 ★★：重要事項 ★：知っておくと良い）

● TS の器械誤差について（まとめ）★★★★

名 称		原 因	消 去 法
T S の 3 軸 誤 差	視準軸誤差	TS の視準軸と望遠鏡の視準線が一致していないため、水平角の測定に生じる誤差。 TS の水平軸と視準線が直交していないため、水平角の測定に生じる誤差。 誤差の大きさは高度角に比例する。	望遠鏡正反観測の平均値をとることにより消去
	水平軸誤差	TS の水平軸と鉛直軸が直交していないため、水平角の測定に生じる誤差。 誤差の大きさは、高度角に比例する。	望遠鏡正反観測の平均値をとることにより消去
	鉛直軸誤差	TS の鉛直軸と鉛直線の方法が一致していないため、水平角の測定に生じる誤差。 誤差の大きさは、高度角に比例する。	なし（補正値を算出することにより、低減することが可能）
偏心誤差		目盛盤の中心と鉛直軸がずれているため、水平角の測定に生じる誤差。	望遠鏡正反観測の平均値をとることにより消去
外心誤差		視準軸（望遠鏡）が回転軸の中心からずれているため、水平角の測定に生じる誤差。	望遠鏡正反観測の平均値をとることにより消去
目盛誤差		目盛板の目盛間隔が均等でない場合に、水平角の測定に生じる誤差。	目盛板を均等な間隔ごとに使用することにより、誤差を小さくはできるが、完全に消去はできない。

● TS を用いた観測の誤差全般について ★

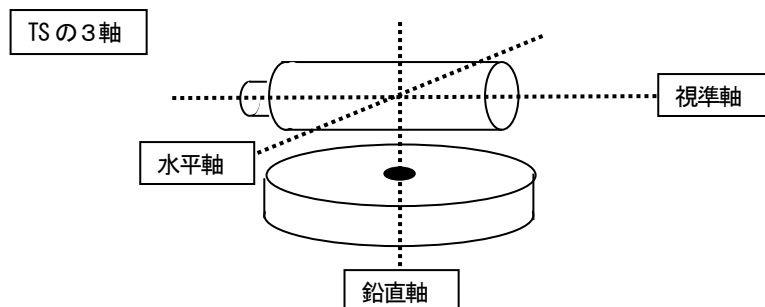
TS による水平角観測時に生じる誤差は、大きく次の3つに分けられる。

- ・ ＜自然誤差＞外界条件に原因のある誤差・・・気象条件、三脚付近による地盤の安定などの誤差
- ・ ＜過失・過誤＞観測者自身に原因がある誤差・・・測角方法、技術などの未熟、観測ミス。
- ・ ＜器械誤差＞トランシット自体に原因がある誤差・・・TS の調整不完全など

この誤差の中で、TS 自体に原因がある誤差（いわゆる器械誤差）とは、器械の調整不十分やその構造上の不具合によって生じる誤差のことであり、誤差の分類では、定誤差（観測方法や計算によって消去される誤差）になる。

● TS の 3 軸誤差について

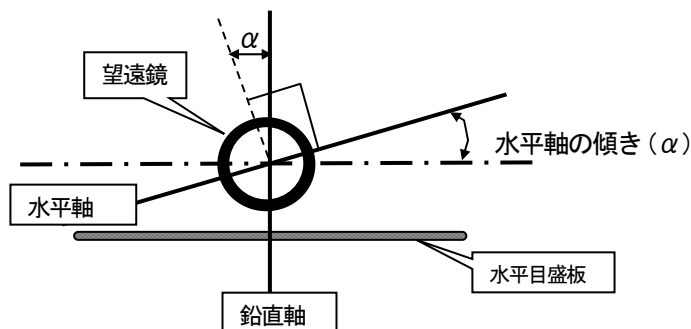
TS の 3 軸とは、次図に示す「水平軸」「視準軸」「鉛直軸」を言い。その構造的にも重要なものである。



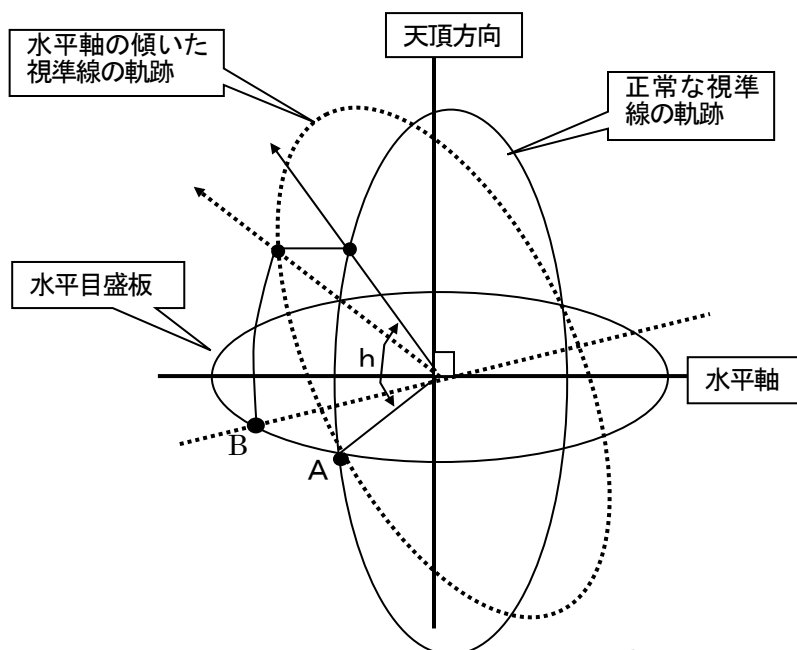
以下に、TS の 3 軸誤差について詳述する。

◆ 水平軸誤差

下図のように、水平軸が鉛直軸と直交していないために、水平角の測定に生じる誤差。



まず、次図のように水平軸の傾きが無い（正常な）TS を用いて、A 点の観測を行う場合を考えると、望遠鏡（視準線）は水平軸を中心に回転するため、その軌跡は、図の実線の通りとなり高度角が変化しても、その水平角の観測値には何ら影響が無いことがわかる。



しかし、水平軸が鉛直軸に対して傾いている TS を用いて、同様の観測を行うと、望遠鏡の回転の軌跡は、図の破線の通りとなり、A 点を観測しても、高度角が h の場合では、A～B の間で水平角の観測値が変化し、水平角の誤差は望遠鏡が天頂時に最大となることがわかる。

また水平軸誤差は、前図の観測方向を望遠鏡（正）と考えれば、望遠鏡（反）で観測を行った場合、その位置関係が正反転するため、誤差が消去されることがわかる。

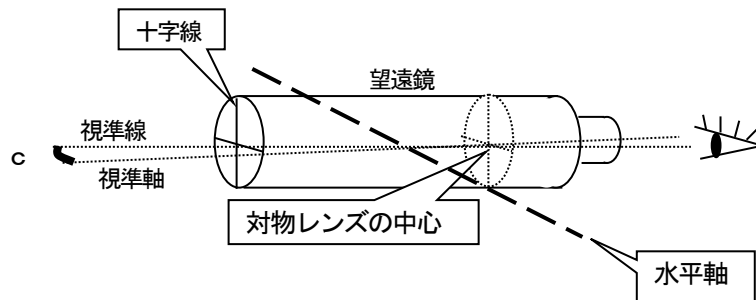
以上の事柄に関してまとめると、次のようなことが言える。

<TS の水平軸誤差>

- ・ 内 容：TS の水平軸が、鉛直軸に対して傾いているために生じる誤差。
- ・ 影 響：目標の高度角により、水平角観測値に誤差を生じる。
- ・ 消 去 法：望遠鏡正反の観測を行い、その観測値を平均する。

◆ 視準軸（線）誤差

次図のように、視準軸が視準線と一致していないために、水平角の測定に生じる誤差。



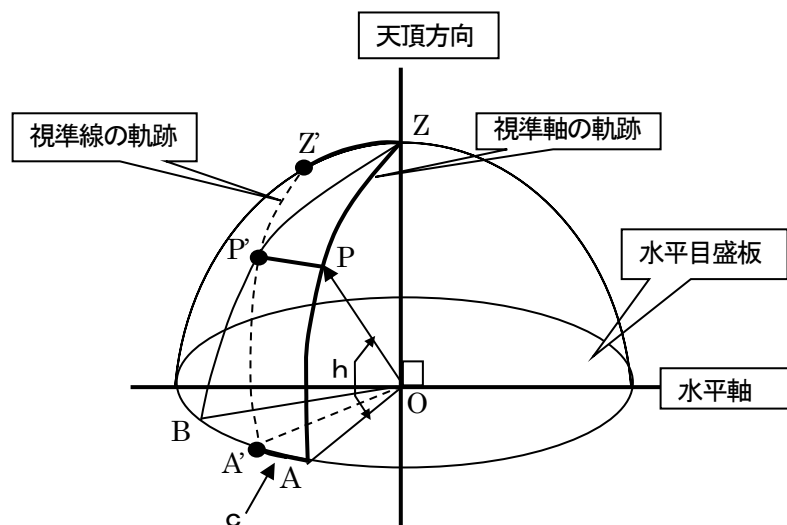
視準線：望遠鏡の対物レンズの中心と十字線の中心を結んでできる線

視準軸：望遠鏡の対物レンズの中心を通り、水平軸と垂直に交わる線

次図のような、器械の中心がO、望遠鏡に視準線のズレcを持つTSで、水平方向から天頂方向を視準した場合、視準軸は図の実線（APZ）の軌跡を描き、視準線は視準軸に対してcのズレを持つため、破線（A' P' Z'）の軌跡を描くこととなる。（ここで、AA' < PP' < ZZ'）

このようなTSで、高度角hの高さにある目標Pを視準した場合、水平角はBの値を指すが、実際には視準軸誤差cを持つため、本来の水平角はAであり、水平角には $\angle AOB$ の大きさの誤差（視準軸誤差）を生じることになる。

図からもわかるように、視準軸誤差は $h=0$ であれば、その大きさはcであるが、hが大きくなれば、その大きさも増加していくことになる。



また視準軸誤差は、図の観測方向を望遠鏡（正）と考えれば、望遠鏡（反）で観測を行った場合、その位置関係が正反転するため、誤差が消去されることがわかる。

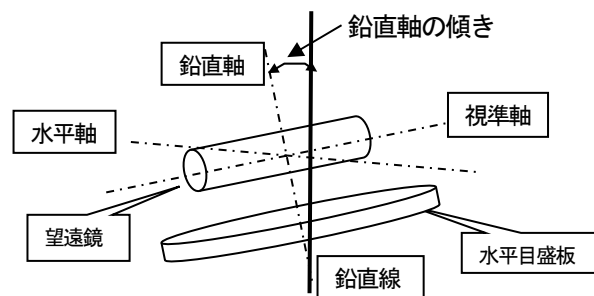
以上をまとめると、次のようなことが言える。

＜TS の視準軸誤差＞

- ・ 内 容：TSの視準軸が、視準線と一致していないために水平角の値に生じる誤差。
- ・ 影 響：目標の高度角により、水平角観測値に誤差を生じる。
- ・ 消 去 法：望遠鏡正反の観測を行い、その観測値を平均する。

◆ 鉛直軸誤差

次図のように、鉛直軸が鉛直線から傾いているために、水平角の測定に生じる誤差。水平軸誤差とは異なり、鉛直軸誤差では、水平目盛板も傾く事に注意をする必要がある。



次図のように、鉛直軸が鉛直線から傾いているTSを用いて観測する場合を考える。

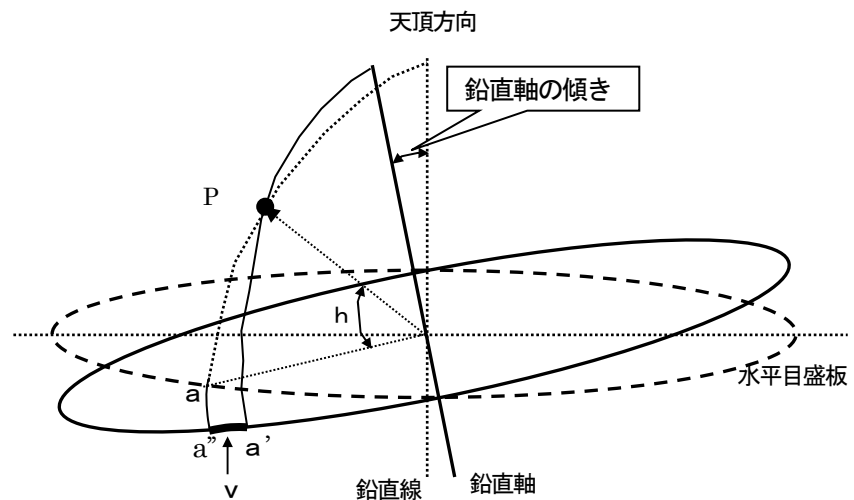
まず、鉛直軸に傾きの無いTSでの観測を考えると、同様に目標物(P)を視準した場合の水平角読定値は a となる。次に鉛直軸が傾いたTSで、同じ目標物(P)を視準した場合は、水平目盛板も同様に傾いているため、
 その水平角読定値は
 a' となる。

天頂方向

鉛直軸の傾き

これを傾いた水平目盛板に対応させた a'' と a' の値が鉛直軸誤差 (v) となる。

この鉛直軸誤差は、
図からも分かるように、
目標の高度角（ h ）が
大きいほど増加する。



また、水平目盛板自体が傾いているため、正反の観測を行い水平角読定値を平均してもこの誤差は消去する事が出来ない。このため観測作業前にあたっては、特に注意して点検・調整する必要がある。

以上をまとめると、次のようなことが言える。

<TS の鉛直軸誤差>

- ・ 内 容：TS の鉛直軸が、鉛直線と一致していないために水平角読定値に生じる誤差。
- ・ 影 響：目標の高度角に比例して、水平角観測値の誤差が増大する。
- ・ 消去法：ない。（TS の調整を行う）

● TS のその他誤差について

◆ 偏心誤差（目盛板の偏心誤差）

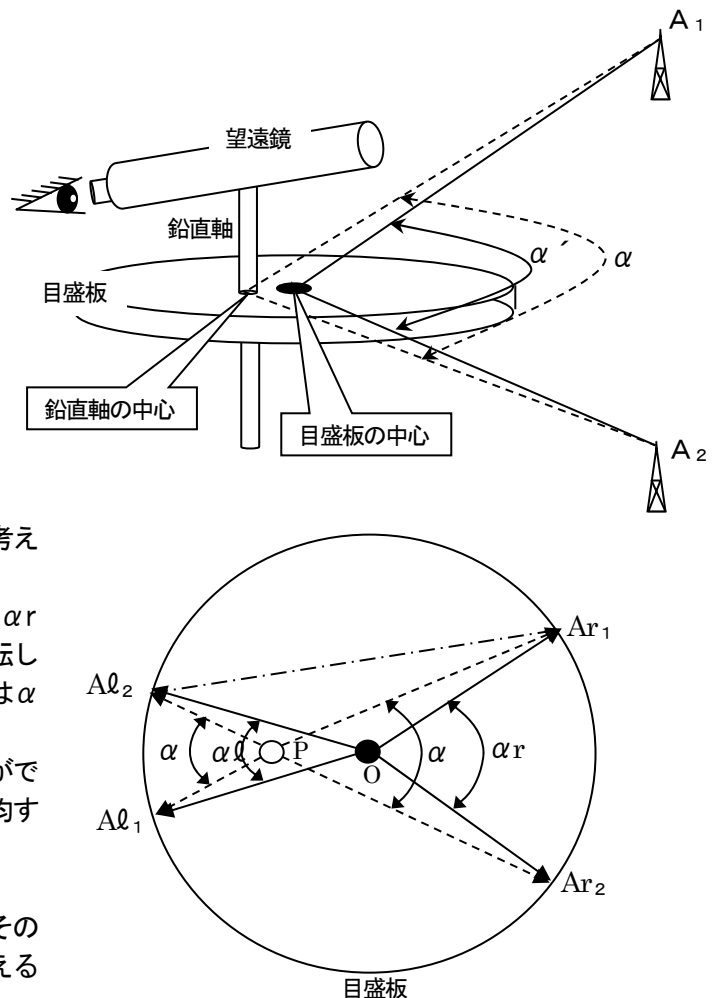
右図のように、目盛板の中心から鉛直軸の中心（TS の回転軸）がズレていると、その水平角観測値には、 $\alpha \cdot \alpha'$ のように誤差を生じる。この誤差を偏心誤差（目盛板の偏心誤差）と言う。

今、右図のように目盛板の中心 O と鉛直軸の中心（TS の回転軸） P がズレているTSで、目標 A_1 と A_2 を正（ r ）、反（ l ）で観測した場合を考えてみる。

ここで、実際に観測される角度は、 αr （正）と αl （反）であるが、TSが回転している角度（求めるべき正しい角度）は α である。

よって、 αr と αl から α を求める事ができれば、偏心誤差は正反の観測値を平均する事で消去できることが証明される。

まず、「同一円弧に対する円周角は、その中心角の1/2である」事を利用して考えると次のようになる。



$$\angle Ar_1 Al_2 P = \frac{1}{2} \alpha r \quad \text{同様に、} \angle Al_2 Ar_1 P = \frac{1}{2} \alpha l$$

次に、 α ($\angle Ar_1 P Ar_2$) について考えると、三角形の外角より次のようになる。

$$\begin{aligned}\alpha (\angle Ar_1 P Ar_2) &= \angle Ar_1 Al_2 P + \angle Al_2 Ar_1 P \\ &= 1/2 (\alpha r + \alpha l)\end{aligned}$$

よって偏心誤差は、正反観測値の平均をとることで消去できる。

※ 鉛直角観測については、望遠鏡正反の回転角度が 180° ではないため、消去されない。

◆ 過去問題にチャレンジ！ (H18-1-D：士補出題)

次の文は、セオドライト（トランシット）を用いた水平角観測において生じる誤差について、それぞれ述べたものである。望遠鏡の正（右）・反（左）の観測値を平均することで消去できる誤差の組合せとして最も適当なものはどれか。次の中から選べ。

- a. 望遠鏡の視準線が、セオドライトの鉛直軸の中心から外れているために生じる誤差
- b. セオドライトの水平目盛盤の目盛間隔が、均一でないために生じる誤差
- c. 空気密度の不均一さによる目標像のゆらぎのために生じる誤差
- d. セオドライトの水平目盛盤の中心が、鉛直軸の中心と一致していないために生じる誤差
- e. セオドライトの鉛直軸の方向が、鉛直線の方角に一致していないために生じる誤差
- f. セオドライトの水平軸と鉛直軸が直交していないために生じる誤差

- 1. a, c, e
- 2. a, d, f
- 3. b, c, e
- 4. b, e, f
- 5. c, d, f

< 解 答 >

問題文にある各誤差について考えると、次のようになる。

- a. 「視準線誤差」：正反の平均によって消去可能。
- b. 「目盛盤誤差」：目盛の全周を満遍なく使う観測方法で低減することが可能。
- c. 陽炎などの現象は観測時刻を吟味して観測するしかない。
この問題文は、角観測に関する「不定誤差」（自然現象や偶発的な事態により発生する誤差で消去する方法はない）であり、空気密度が不均一となるために、光の屈折が不均一となり生じる誤差である。いわゆる「陽炎（かげろう）」と考えても差し支えないが、視準線が建物や樹木に接して通る場合にも生じることがある。消去方法はないが、観測時間を陽炎の少ない朝や夕方にするにより、影響を小さくすることはできる。正反の観測作業では消去できない。
- d. 「目盛盤の偏心誤差」：正反の平均によって消去可能。
- e. 「鉛直軸誤差」：観測方向ごとの気泡管のずれを記録しておいた後、補正値を算出することにより、低減することが可能。完全に消去することはできない。
- f. 「水平軸の誤差」：正反の平均によって消去可能。

よって、正反の平均によって消去が可能なものは、a. d. f の組合せとなる。

解答： 2

◆ 過去問題にチャレンジ！ (H29-No6：士補出題)

次の文は、トータルステーション（以下「TS」という。）を用いた水平角観測において生じる誤差について述べたものである。□ア□～□エ□に入る語句の組合せとして最も適当なものはどれか。次の中から選べ。

TS を用いた水平角観測において生じる誤差は、望遠鏡の正（右）・反（左）観測の平均値をとることによって消去できるものとできないものに分けられる。望遠鏡の正反観測の平均値をとることによって消去できる誤差としては、以下が挙げられる。

- ・ TS の水平軸と望遠鏡の視準線が、直交していないために生じる視準軸誤差
- ・ TS の水平軸と鉛直軸が、直交していないために生じる □ア□ 誤差
- ・ TS の水平目盛盤の中心が、鉛直軸の中心と一致していないために生じる □イ□ 誤差
- ・ 望遠鏡の視準線が、TS の鉛直軸の中心から外れているために生じる外心誤差

一方、望遠鏡の正反観測の平均値をとることによって消去できない誤差としては、以下が挙げられる。

- ・ TS の鉛直軸が、鉛直線から傾いているために生じる □ウ□ 誤差

空気密度の不均一さによる目標像のゆらぎのために生じる誤差は、望遠鏡の正反観測の平均値をとることによって消去 □エ□。

	ア	イ	ウ	エ
1.	水平軸	偏心	鉛直軸	できない
2.	水平軸	鉛直軸	偏心	できない
3.	垂直軸	偏心	鉛直軸	できる
4.	垂直軸	鉛直軸	偏心	できる
5.	水平軸	偏心	鉛直軸	できる

< 解 答 >

TS の器械誤差等に関する問題である。ア～エについて考えると次のようになる。

- ア：水平軸誤差：望遠鏡の正反観測の平均値をとることによって消去。
イ：偏心誤差：望遠鏡の正反観測の平均値をとることによって消去。
ウ：鉛直軸誤差：消去法はない。
エ：できない：かげろう（密度の異なる大気が混ざり合うことで光が屈折し起こる現象）による影響は、消去することができない。かげろうの影響を少なくするためには、早朝や夕方、曇りの日などに観測作業を行えばよい。

解答： 1