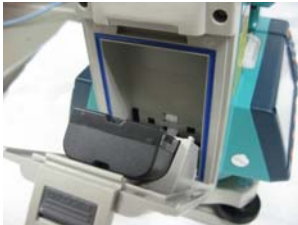


トータルステーションと角度と距離の観測

トータルステーション（以下 TS）とは、角度を測る器械（トランシットやセオドライト）と距離を測る器械（光波測距儀）を組合せ、目標を視準してボタンを押せば、角度と距離が同時に観測できる、電子式の測距・測角器械である。このため、TSは「測角部」と「測距部」にその機能が分類される。

TSはバッテリーを搭載し、目標を視準しレーザーを飛ばして距離を測る事により、右の写真のように、パネル部に「水平距離」、「鉛直角」、「水平角」などの観測した値が表示される。



バッテリー 格納時



プリズム（反射鏡）とは、TSから放たれるレーザーを反射させTSに戻す役割を持つものである。TSはプリズムによって反射されたレーザーを受光する事により、距離を表示することができる。



プリズムとミニプリズム

その他、角度のみを観測する器械として、トランシットやセオドライトがある。



※ 電子式トランシット (セオドライト)

角度の読取部がデジタル表示になったもの。目標を視準するだけで、鉛直角と水平角が同時に表示される (距離の観測はできない)。

0° (水平角) へのセットがボタン一つでできるなど、従来からあるトランシットに比べ、作業能率がアップし、読取誤差などのヒューマンエラーが回避できる。

● トランシットとセオドライト

従来は異なる機構の測角器械であり、トランシットはアメリカから、セオドライトはヨーロッパから入ってきた器械と言われていたが、現在はその機能は同様のものとなり、単に修得した (習った) 環境から、トランシット又はセオドライトと2つの名称で呼ばれている。メーカーのカatalog等には、セオドライトの名称で統一されている。

(1) TS 各部の名称と三軸



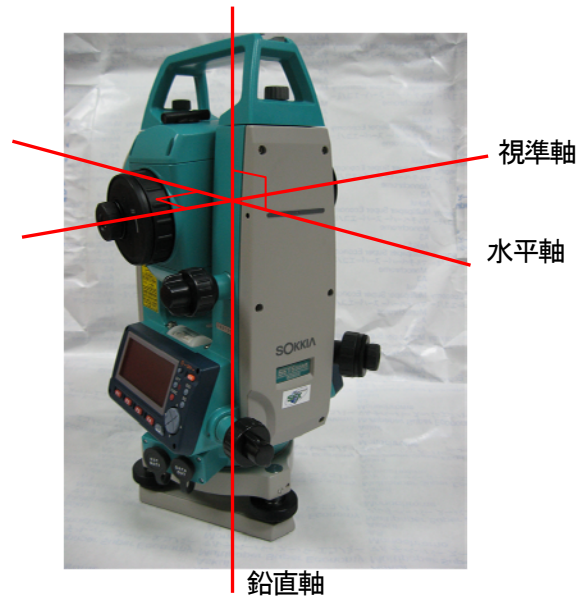
<TSの三軸>

TS (トランシット・セオドライト) には、次図のような3つの軸がある。

水平軸 : TS 本体の水平線。水平軸と鉛直軸は直角に交わっている。

鉛直軸 : 器械の中心を通る線。観測時には地上に対して鉛直になる。この線と地上の点を一致させる作業を「致心」と言う。

視準軸 : 望遠鏡の中心の軸。望遠鏡を覗く視線 (視線) と平行な関係にある。



(2) TSの据付け

TSによって、角度 (又は距離) を観測するためには、地上の観測点と器械の中心を一致 (致心) させ、かつ器械を水平にする (整準) 必要がある。この2つの作業を同時に行う事を「据付け」と呼び、この据付け作業を行って初めて観測を行う事ができる。



(3) TSの機能

TSにはおおよそ次のような機能がある。

<基本機能>

- ・セルフチェック機能 : 電源投入時に TS 各部を自己点検する。
- ・表示・入力機能 : 観測値はデジタル表示され、数値入力や命令はキーボードによる。
- ・バッテリー残量表示機能 : バッテリーの残量を表示し、警告音等で知らせる。

<観測機能>

- ・水平角測定方向の切替機能：左右測定方向の切替
- ・倍角測定の設定：倍角観測への切替
- ・0° セット：水平角0° へのセット
- ・スロープリダクション（距離変換）機能：水平距離、高低差への変換。気差・球差の補正
- ・測定値平均化機能：測定値の平均値を表示
- ・気象補正機能：気象補正やプリズム定数の補正

※その他トランシットと同様の機能を持つ。

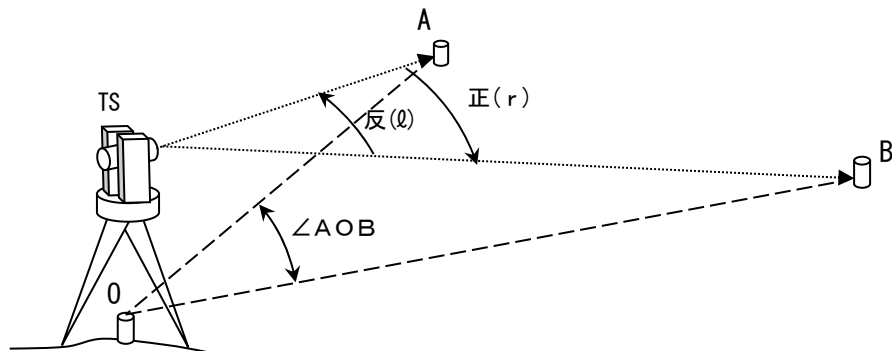
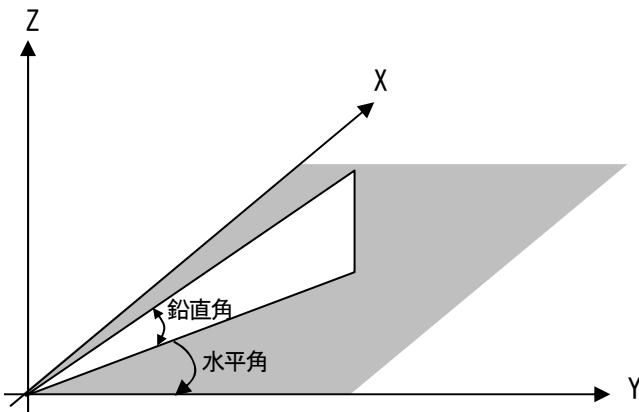
<計算機能>

- ・座標計算機能：観測点の(X, Y, Z)座標値を計算する。
- ・ステークアウト（測設）機能：基準の点から距離と角度を元にして、目標点の位置を求める。
- ・対辺機能：基準の反射鏡位置から他の反射鏡位置までの距離と高低差を求める。
- ・リモートエレベーション（REM）機能：反射鏡を設置できない点までの高さを求める。
- ・オフセット機能：直接反射鏡を設置できない点までの、距離と角度を求める。

(4) TSによる角度の観測

TS（測角部）によって観測される角度の種類には、鉛直角（高度角）と水平角があるが、一般的に角度と言えば、水平角を指している。

水平角は右回り（時計回り）の観測を「正(r)」、望遠鏡を反対にした左回りの観測を「反(ℓ)」としており、観測された角度(図の∠AOB)は、正と反の観測値を平均したものとなる。



(5) 観測結果の整理

角度の観測方法は、原則「正反1対回」で行うものとする。正反1対回とは、例えば前図のように、 $\angle AOB$ を観測する場合で考えると、先ず望遠鏡正 (r) でA→B (右回り) の観測を行い、続いて望遠鏡反 (ℓ) でB→A (左回り) の観測をおこなう方法である。

TSに係わらず測量で得られた結果は、必ず「野帳」に記入する必要がある。野帳とは文具メーカーから販売されている、一般的に緑色の表紙をしたポケットに入るサイズの手帳であるが、データを記入する用紙の事をまとめて「野帳」と呼ぶ場合もある。

角度を観測した結果は、野帳に次のように記載される。

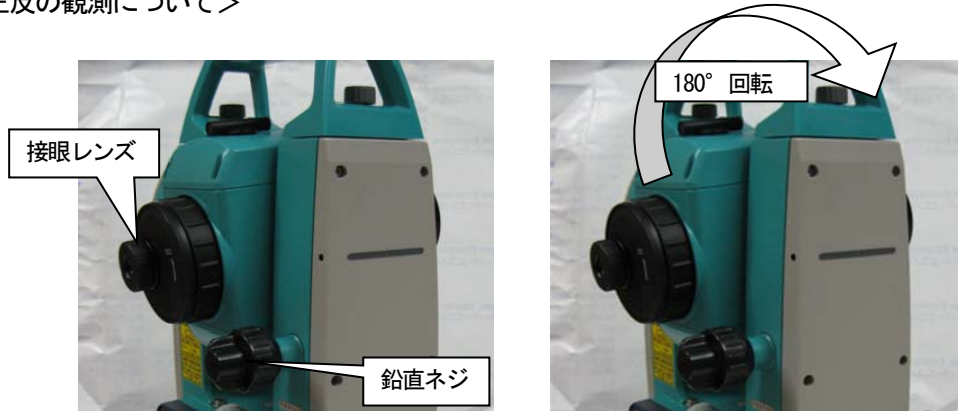
測点	視準点	望遠鏡	観測角	結果	平均角	Re
○	A	r	0° 00' 00"	0° 00' 00"	47° 32' 13" ※2	
	B		47° 32' 15"	47° 32' 15"		
	B	ℓ	227° 32' 20" ※1	47° 32' 10" ※1		
	A		180° 00' 10"	0° 00' 00"		

記載項目は前表の通りである。結果の欄は、Bの角度の読みから、Aの角度の読みを引く事になる。平均角は、結果欄の正反の観測値を平均する。

※1 反の観測の計算方法は、反観測のAの読み (ここでは、180° 00' 10") が、0° 00' 00" になるようにするため、反観測のB点 (227° 32' 20") から、A点 (180° 00' 10") の値を引いた値となる (227° 32' 20" - 180° 00' 10" = 47° 32' 10")。

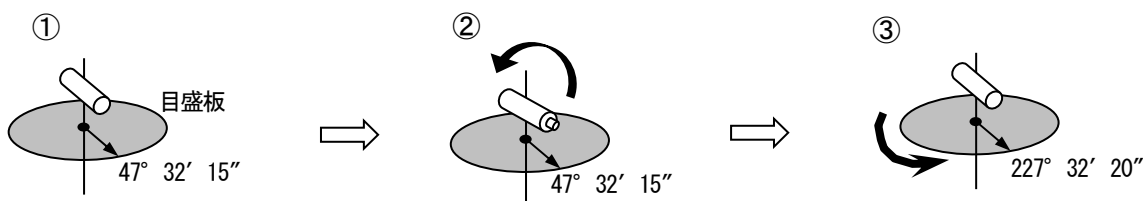
※2 平均角は、結果欄のB点の値を平均したものである。

<望遠鏡正反の観測について>



一般的に、望遠鏡 (正 : r) の位置は、写真のように接眼レンズと鉛直ネジが同じ方向にある場合を言う。望遠鏡 (反 : ℓ) は、これを180° 回転させて観測する場合を言う。

望遠鏡の正反と観測角度の関係を図に描くと次のようになる。



- ① 望遠鏡（正）で図の角度（ $47^{\circ} 32' 15''$ ）を観測していると考える。
※「望遠鏡正方向」とは、右回りに観測すると、水平角が増加する（ $10^{\circ} \rightarrow 15^{\circ}$ など）方向である。
- ② 望遠鏡を反転（鉛直方向に 180° 回転）させる（この状態を望遠鏡（反）と言う）。
- ③ 水平運動によりTSを 180° 回転させ、同じ目標を見ることにより、目盛は $+180^{\circ}$ （ $47^{\circ} 32' 15'' + 180^{\circ} = 227^{\circ} 32' 20''$ ）になる。
※この場合は、左右どちらに回転させても良い。水平運動とは、望遠鏡を水平方向に回転させる作業である。
※望遠鏡（反）にして①と同様の目標を視準すると、図のように、ちょうど 180° が加わる（減る）ことになるのは「まれ」である。多少（5～秒程度）はズれる事が多い。

角度の観測には、「単測法」、「倍角法」、「方向観測法」などがある。士補試験に出題された事のある観測法は、方向観測法のみである。

(6) 方向観測法

水平角の観測では一般的に方向観測法が用いられる。方向観測法は1視準1読定（1方向を見て1回角度を読む）、望遠鏡正反の観測を1対回（正反1回で1組のこと）として行われる。

以下に、士補試験に出題された事のある観測データを用いて解説する。

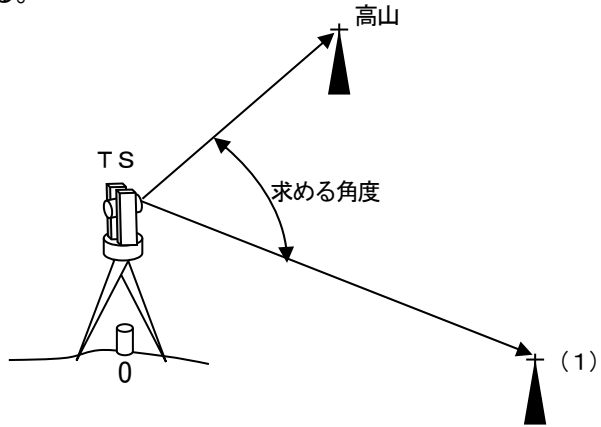
目盛	望遠鏡	番号	視準点	観測角	計算	結果	
0°	r	1	高山	$0^{\circ} 0' 28''$	$124^{\circ} 18' 39''$	$0^{\circ} 0' 0''$	①
		2	(1)	$124^{\circ} 18' 39''$	$-0^{\circ} 0' 28''$	$124^{\circ} 18' 11''$	②
	l	2		$304^{\circ} 18' 42''$	$304^{\circ} 18' 42''$	$124^{\circ} 18' 17''$	③
		1		$180^{\circ} 0' 25''$	$-180^{\circ} 0' 25''$	$0^{\circ} 0' 0''$	④
90°	l	1		$270^{\circ} 2' 30''$	$34^{\circ} 20' 51''$ ※	$0^{\circ} 0' 0''$	
		2		$34^{\circ} 20' 51''$	$-270^{\circ} 2' 30''$	$124^{\circ} 18' 21''$	
	r	2		$214^{\circ} 20' 43''$	$214^{\circ} 20' 43''$	$124^{\circ} 18' 10''$	
		1		$90^{\circ} 2' 33''$	$-90^{\circ} 2' 33''$	$0^{\circ} 0' 0''$	

※ 計算結果が-（マイナス）になる場合は、角度が1回転したと考えて、 $+360^{\circ}$ をする。

この観測作業を図に表し、解説すると次のようになる。

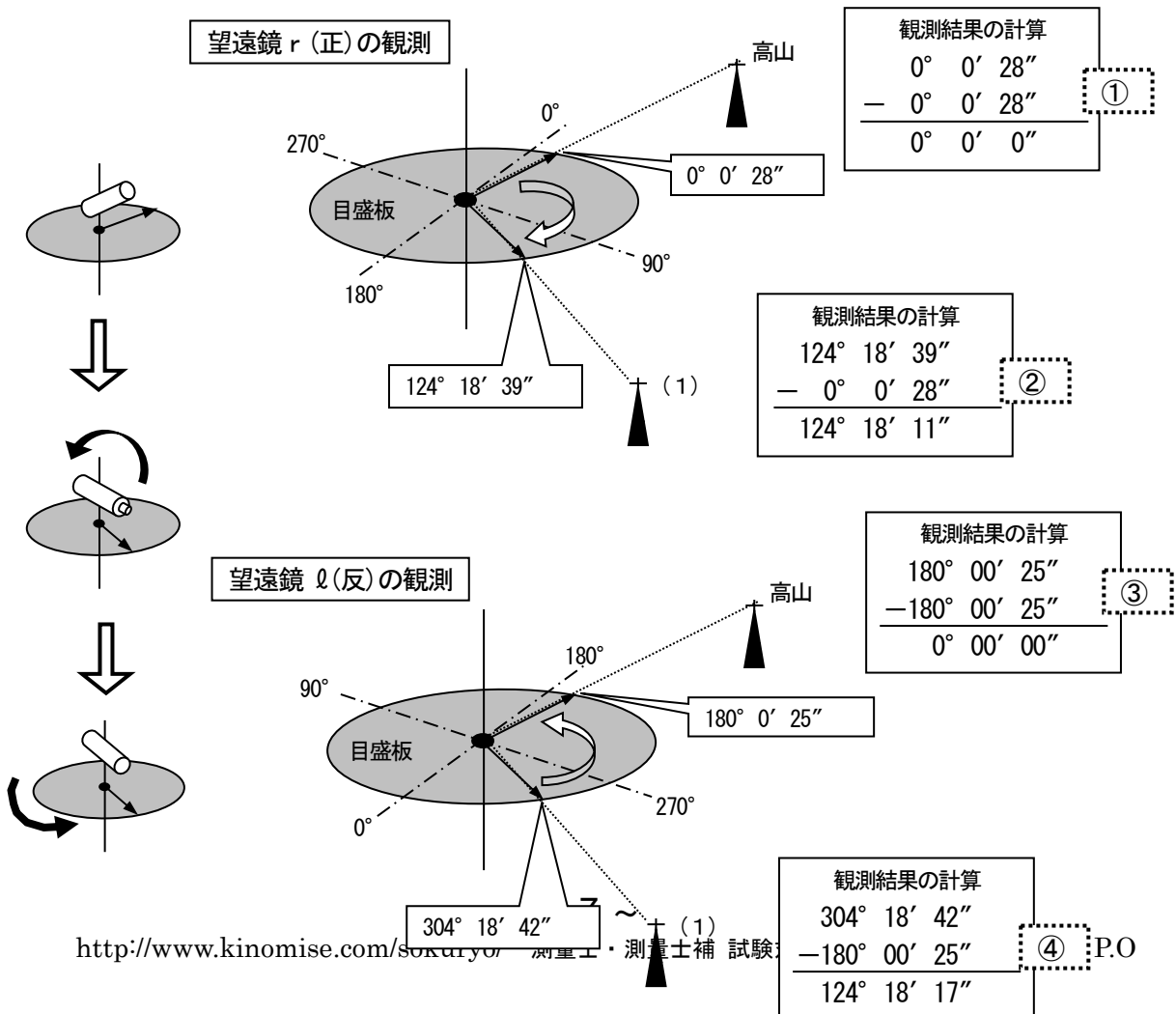
現在、点0上にTSを据付け、高山（観測する点の名前）と（1）に挟まれた角度を求めようとしている。

1回だけの観測では、その信用度が低いため、正反1対回の観測を2回行い、これを平均して、観測された角度の精度を上げようとしている。



前記の観測データについて、①～④の状態を図で表すと、次のようになる。

ここで、①の観測角が $0^{\circ} 00' 00''$ （初期値）からずれているのは、TS（トランシット・セオドライト）使用時からの流れで、「0」目盛の信用性が低いため、少しずつずらして観測を始めたころの名残である。また、2回目の観測作業が 90° から始まっているのも、トランシット内部にある水平目盛盤をまんべんなく使用し、盤に刻まれた目盛の誤差を軽減しようとする工夫である。



<観測精度の判定>

このように観測されたデータは、その平均値をとればよいが、その前にその観測値自体を採用して良いか否かの判定が必要となる。人間が観測作業を行う以上、ヒューマンエラーや陽炎などの観測条件に結果が左右されるためである。

方向観測法の観測精度の判定には、「倍角差」と「観測差」が用いられる。倍角差・観測差は次のように計算される。

- ・ 倍角：同じ視準点に対する、1対回（望遠鏡の正反観測）の結果の秒数和。

$$\langle \text{正}(r) + \text{反}(l) \rangle$$
- ・ 較差：同じ視準点に対する、1対回の結果の差。

$$\langle \text{正}(r) - \text{反}(l) \rangle$$
- ・ 倍角差：複数対回による同じ視準点の倍角値の、最大値と最小値の差。

$$\langle (\text{倍角の最大値}) - (\text{倍角の最小値}) \rangle$$
- ・ 観測差：複数対回による同じ視準点の較差の、最大値と最小値の差。

$$\langle (\text{較差の最大値}) - (\text{較差の最小値}) \rangle$$

参考までに公共測量作業規程の準則（以下、準則）では、方向観測法（水平角）の許容範囲を次のように定めている。（2015年現在）

	1級基準点測量	2級基準点測量		3級基準点測量	4級基準点測量
		1級トランジット (TS)	2級トランジット (TS)		
倍角差	15"	20"	30"	30"	60"
観測差	8"	10"	20"	20"	40"

前出の観測データについて倍角差・観測差の検討を行うと、次表の通りとなる。ちなみに、上記表の1級基準点測量の許容範囲で考えると、倍角差と観測差は許容範囲内であると言える。

目盛	望遠鏡	視準点	番号	観測角	結果	倍角	較差	倍角差	観測差
0°	r	1	高山	0° 0' 28"	0° 0' 0"	28"	-6"	03"	05"
		2	(1)	124° 18' 39"	124° 18' 11"				
	ℓ	2		304° 18' 42"	124° 18' 17"				
90°	ℓ	1		180° 0' 25"	0° 0' 0"	31"	-11"		
		2		34° 20' 51"	124° 18' 21"				
	r	2		214° 20' 43"	124° 18' 10"				
		1		90° 2' 33"	0° 0' 0"				

結果の計算

前出の観測データについてまとめると、次のようになる。

- ・ 倍角の計算：
 目盛 0度の場合：11" + 17" = 28"

- 目盛 90 度の場合 : $10'' + 21'' = 31''$
- ・ 較差の計算 :
 - 目盛 0 度の場合 : $11'' - 17'' = -6''$
 - 目盛 90 度の場合 : $10'' - 21'' = -11''$
- ・ 倍角差の計算 :
 - $31'' - 28'' = 03''$
- ・ 観測差の計算 :
 - $-6'' - (-11'') = 05''$

よって、観測結果に問題は無いためこれを平均し、水平角の最確値を求めると次のようになる。

$$124.18, + \frac{11'' + 17'' + 21'' + 10''}{4} = 124.18, + 14.75'' \doteq 124.18, 15''$$

よって、前出の観測データによる、高山 ~ (1) 間の水平角の最確値は、 $124^\circ 18' 15''$ である。

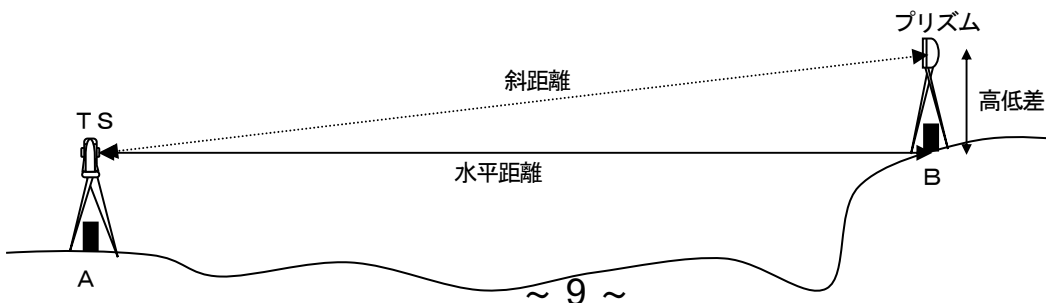
(7) TS による水平角観測の誤差

「器械誤差」と呼ばれ、TS が持つ誤差の種類と消去（軽減）法を以下にまとめる。

名称		原因	消去法
TS の 三 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。	望遠鏡正反観測の平均値を取ることにより消去
	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。	望遠鏡正反観測の平均値を取ることにより消去
	鉛直軸誤差	TS の鉛直軸と鉛直線の方向が一致していないため、水平角の測定に生じる誤差。	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に、水平角の測定に生じる誤差。	望遠鏡正反観測の平均値を取ることにより消去
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取ることにより消去
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。

(8) TS による距離の観測

観測される距離には、「水平距離」、「斜距離」、「高低差」の3種類がある。地図や建設図面などは水平距離で表されているため、一般的に「距離＝水平距離」を表していると考えてよい。

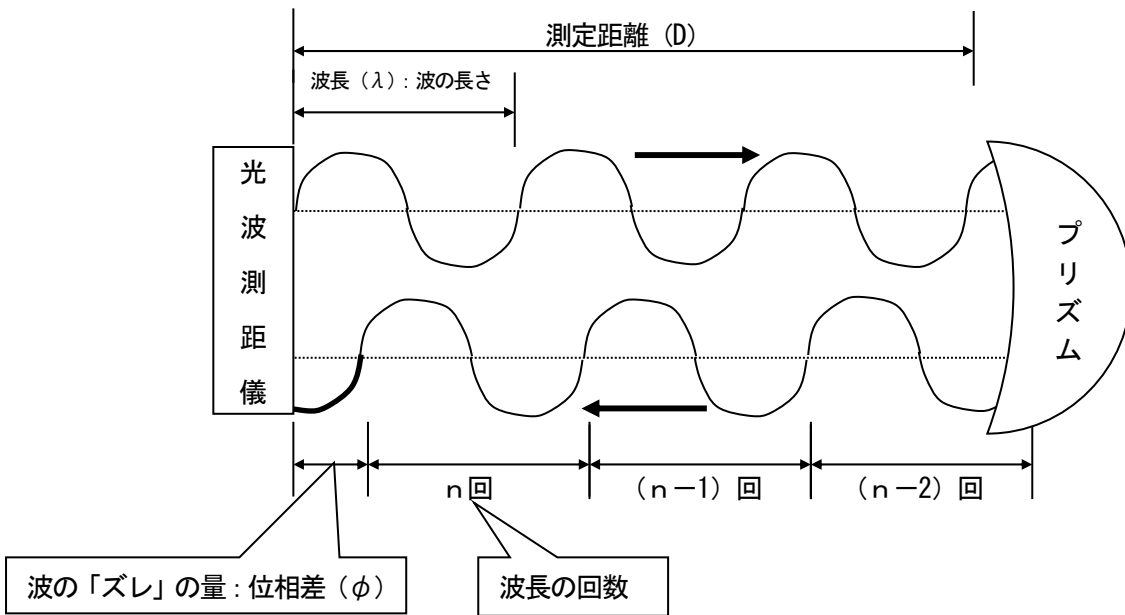




TSによる距離と角度の観測及びプリズム (左: 株式会社トプコンソキアポジショニングジャパン提供)

(9) TSによる距離観測の原理

TS (測距部) による距離の観測は、望遠鏡中心部にあるレーザ射出口から発射されたレーザをプリズムにより反射し再度TSで受光して行われる。



TS (測距部) はまず光を波に変え※、その波の長さ (波長) とプリズムにより反射され、光波測距儀に戻ったときに生じる「波のズレの量」(位相差) を測定し、内部計算することにより、距離を測定することができる。

※ 変調周波数

TS (測距部) は、光を波に変えて距離を観測するものであるが、光を波に変える場合は基準発信器により変調周波数 (ある一定の周波数) を光に与え、光に強弱 (明暗) を付けることにより行われる。

10) データコレクタ

データコレクタ (以下 DC) とは、TS により測定されたデータの記録や精度管理、コンピュータへのデータ転送などを行う装置。「電子野帳」「データレコーダ」などとも呼ばれる。DC は、TS とケーブルにより接続される独立型と TS 内に組み込まれている組込型に分類される。



また DC の機能には、次のようなものがある。

- ・ 入力：自動入力されるデータ (観測データ) と手動入力されるデータ (属性データ) がある。
- ・ 記録：DC の内部メモリや記録媒体に記録される。
- ・ 検索：記録されたデータを検索・編集する機能であるが、観測データ等は測量作業の品質を左右するため、意図的に消去・訂正できないようになっている。
- ・ 出力：コンピュータへのデータ出力のほか、プリンタに独自に出力する機能を持つ。

※メーカー等の仕様により、さらに多くの機能が備えられているものがある。

(11) TS による距離観測の誤差

TS による距離観測時における誤差は、観測距離に比例するものと比例しないものに大別され、それぞれについてまとめると次表のようになる。

◆ 測定距離に比例する誤差 ◆	
気象 (気温、気圧、湿度) に関する誤差	TS (測距部) の原理は、器械により放たれた光がプリズムにより反射し、器械まで光が戻る時間と、光の速度を基に計算されている。 しかし、光は空気中を通過するため、気象条件 (気温、気圧、湿度) による影響で光の速度が変化し誤差を生じてしまう。このような誤差を「気象誤差」と言い、当然、光が空気中を長く進めばその影響は大きくなるため、測定距離に比例することがわかる。
変調周波数による誤差	TS により放たれる光は、実際はその発光時に一定の周波数で強弱を与えた (振幅変調) 「波」として用いられている。このように光に強弱 (振幅変調) を与える周波数を「変調周波数」と呼び、変調周波数は TS 内部にある基準発振機から発射されている。 変調周波数の誤差とは、この基準発振機による基準周波数の誤差であり、これにより光の波長が変化するため、観測誤差が生じる。この誤差は、測定距離が長くなれば大きくなる、つまり測定距離に比例するものである。

◆ 測定距離に比例しない誤差 ◆	
器械定数の誤差	TSに限らず、器械はその製造過程から、必ず独自の誤差を持っている。このような器械独自の誤差を器械定数誤差と言い、その大きさを、「器械定数」として表している。器械定数は器械独自の一定の誤差であるため、測定距離には比例しない。
プリズム（反射鏡）の誤差	プリズムはTSから発射された光を反射させる役割を持っているが、TSの器械定数同様に、個々の独自の誤差を持っている。この誤差は、プリズム定数（反射鏡定数）とも呼ばれ、測定距離に比例しない。
位相差測定の誤差	TSは、まず光を波に変えその波の長さ（波長）と、プリズムにより反射されTSに戻ったときに生じる、「波のズレの量」（位相差）を測定し計算により距離を測定する仕組みである。「位相差測定誤差」とは、この位相差をTSが測定するときに生じる誤差であり、その大きさは観測距離に関係なく器械によって異なる。このため、測定距離には比例しない。
致心誤差	測点間の距離を観測するために、TSもプリズムもその中心（鉛直軸）を測点鉛直線上に一致させるための、求心装置が備え付けられている。 求心装置は器械の据付時に行う作業（致心作業）に用いられるものであり、致心作業による誤差（致心誤差）は、観測者の注意によって消去できるものであるため、測定距離には比例しない。

※「TSによる距離観測」は、過去問等で、光波測距儀による観測とも表現されている。元来、TSはトランシット（セオドライト）の測角機能と光波測距儀による測距機能を合わせ持った測量機械である。このため、出題年度によりこのような表現の違いが出た。

◆ 試験問題にチャレンジ ◆

1. TSの特徴に関する問題：平成22年No6出題（改）

次の文は、TSとDCを用いた測量について述べたものである。明らかに間違っているものはどれか。次の中から選べ。

1. 観測においては、水平角観測、鉛直角観測、距離測定を同時に行うことができる。
2. 距離測定においては、気温、気圧を入力すると自動的に気象補正を行うことができる。
3. DCに記録された観測値は、速やかに他の媒体にバックアップを取ることが望ましい。
4. 観測終了後直ちに観測値が許容範囲内にあるかどうか判断できる。
5. DCに記録された観測値のうち、再測により不要となった観測値は、編集により削除することが望ましい。

< 解答 >

1. 正しい。TSとは、光波測距儀と電子セオドライトの機能を併せ持つ測量器械である。これにより、1回の視準で、水平角、鉛直角、斜距離（距離）を同時に観測することができる。
2. 正しい。TSでは、あらかじめ気温や気圧などの気象要素を入力することにより、器械内部の計算により、（気象）補正された値を表示することができる。
3. 正しい。DCに記録されたデータは、不意のトラブルによるデータの紛失を防ぐために、観測者が覚えやすい一定の作業の区切りなどにより、適宜他の記録媒体などにバックアップを取っておくことが望ましい。
4. 正しい。TSにあらかじめ定められた許容範囲を設定すると自動的に点検ができるため、観測データの良否をその場で確認でき、再測すべきか否かの判断が簡単に行える。
5. 間違い。データコレクタに一度保存された測量データは、その測量の品質を保証するために、簡単に修正や削除が行えないようになっている。（行ってはならない）

よって、明らかに間違っている選択肢は、5となる。

2. 倍角差・観測差に関する問題：平成20年出題（改）

TSを用いて水平角を観測し、表の結果を得た。観測における倍角差、観測差の値を求めよ。

表

目盛	望遠鏡	番号	視準点		水平角	結果	備考
			名称	測標			
0°	r	1	303	甲	0° 0' 20"	0° 0' 0"	
		2	(2)	甲	316° 46' 19"	316° 45' 59"	
	l	2			136° 46' 26"	316° 45' 58"	
		1			180° 0' 28"	0° 0' 0"	
90°	l	1			270° 0' 21"	0° 0' 0"	
		2			226° 46' 20"	316° 45' 59"	
	r	2			46° 46' 13"	316° 46' 2"	
		1			90° 0' 11"	0° 0' 0"	

< 解答 >

まず、各対回における倍角及び較差を求め、これから倍角差と観測差を求めればよい。

対回目盛	結果	倍角	較差	倍角差	観測差
0°	0° 0' 0"	117"	1"	4"	2"
	316° 45' 59"				
	316° 45' 58"				
	0° 0' 0"				
90°	0° 0' 0"	121"	3"		
	316° 45' 59"				
	316° 46' 02"				
	0° 0' 0"				

※倍角は、r（正）+ l（反）。較差は、r-l であることに注意する。

よって、水平角観測の倍角差は 4"、観測差は 2" となる。

3. TS 等による水平角観測の誤差：平成 24 年 No8 出題（改）

次の a～e 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ける誤差について述べたものである。望遠鏡の正（右）・反（左）の観測値を平均しても消去できない誤差の記号を答えよ。

- a. 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。
- b. セオドライトの水平軸が、鉛直線と直交していないために生じる水平軸誤差。
- c. セオドライトの水平軸と望遠鏡の規準線が、直交していないために生じる視準軸誤差。
- d. セオドライトの鉛直軸が、鉛直線から傾いているために生じる鉛直軸誤差。
- e. 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偏心誤差。

< 解 答 >

- a. 消去できない。大気のゆらぎ（かげろうなど）によるリ（レ）フラクション誤差は、視準距離を短くするか、観測時間を考えて再度観測する等の対策が必要である。
- b. 消去できる。水平軸誤差は、トランシットの水平軸と鉛直軸が直交していないため、水平角の観測に生じる誤差である。
- c. 消去できる。視準軸誤差は、トランシットの視準軸と望遠鏡の視準線が一致していないため、水平角の観測に生じる誤差である。
- d. 消去できない。鉛直軸誤差は、トランシットの鉛直軸と鉛直線の方が一致していないため、水平角の観測に生じる誤差である。消去法はないが軽減する事は出来る。
- e. 消去できる。偏心誤差は、目盛盤の中心と鉛直軸がずれているために、水平角の測定に生じる誤差である。