

方向観測法による水平角の計算（較差・倍角差）

＜試験合格へのポイント＞

方向観測法による水平角の計算問題は、基準点測量（旧 三角測量）の分野の中でも理解しにくい問題の一つである。H6 年度から H12 年度まで出題が無かったが、近年は数年に 1 回の頻度で出題されている。

問題自体は角度の数値が並んでおり、手を付ける前にあきらめてしまいそうであるが、決して難しい計算手法ではないため、計算の流れをしっかりと理解することにより解答する事ができる。

方向観測法は、基準点測量における水平角の基本的事項であるため、あきらめずにチャレンジしてもらいたい。

（★★★：最重要事項 ★★：重要事項 ★：知っておくと良い）

● 方向角観測法による観測手簿の整理（計算の流れ） ★★★

方向角観測法による、観測手簿の整理（観測値の点検）は次の手順により行われる。測量士補試験では、倍角差・観測差を計算させ、その観測結果から再測部分を判定させるまでが出題されるため、倍角差・観測差までを計算できるようにしておく事が必要である。

- ① 観測角（水平角）より、各方向の結果を求める。
- ② 倍角・較差の計算
- ③ 倍角差・観測差の計算
- ④ 倍角差・観測差における結果の判定
- ⑤ 判定が許容範囲の場合は最確値の計算。許容範囲を超えている場合は再測。

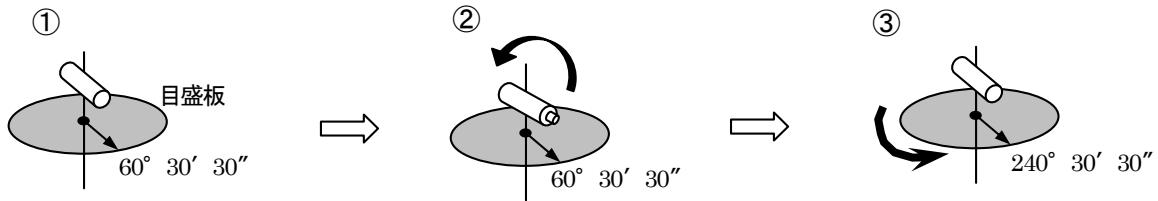
● 望遠鏡正反の観測作業

水平角の観測では、「望遠鏡正反での観測」が必要となる。これにより、トランシット（セオドライト：以下トランシット）の各種誤差※が消去できる。実務に携わる人間は知っていて当然の事であるが、実務経験のない場合には、ここが一番理解しにくい部分でもある。

※トランシットの各種誤差に関しては、「トランシットの誤差」に詳述されている。

◆ 望遠鏡の正反について ★

望遠鏡を正反すると、角度は次のように変わる。



- ① 望遠鏡（正）で図の角度（ $60^{\circ} 30' 30''$ ）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（ $10^{\circ} \rightarrow 30^{\circ}$ など）方向である。
- ② 望遠鏡を反転（鉛直方向に半回転）させる（望遠鏡 反）
- ③ 上部運動によりトランシットを 180° 回転させることにより、目盛は $+180^{\circ}$ される。
※この場合は、左右どちらに回転させても良い。上部運動とは、目盛板を固定したまま、望遠鏡を水平方向に動かす作業である。
※望遠鏡を反にして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（1～5 秒程度）はズレる事が多い。

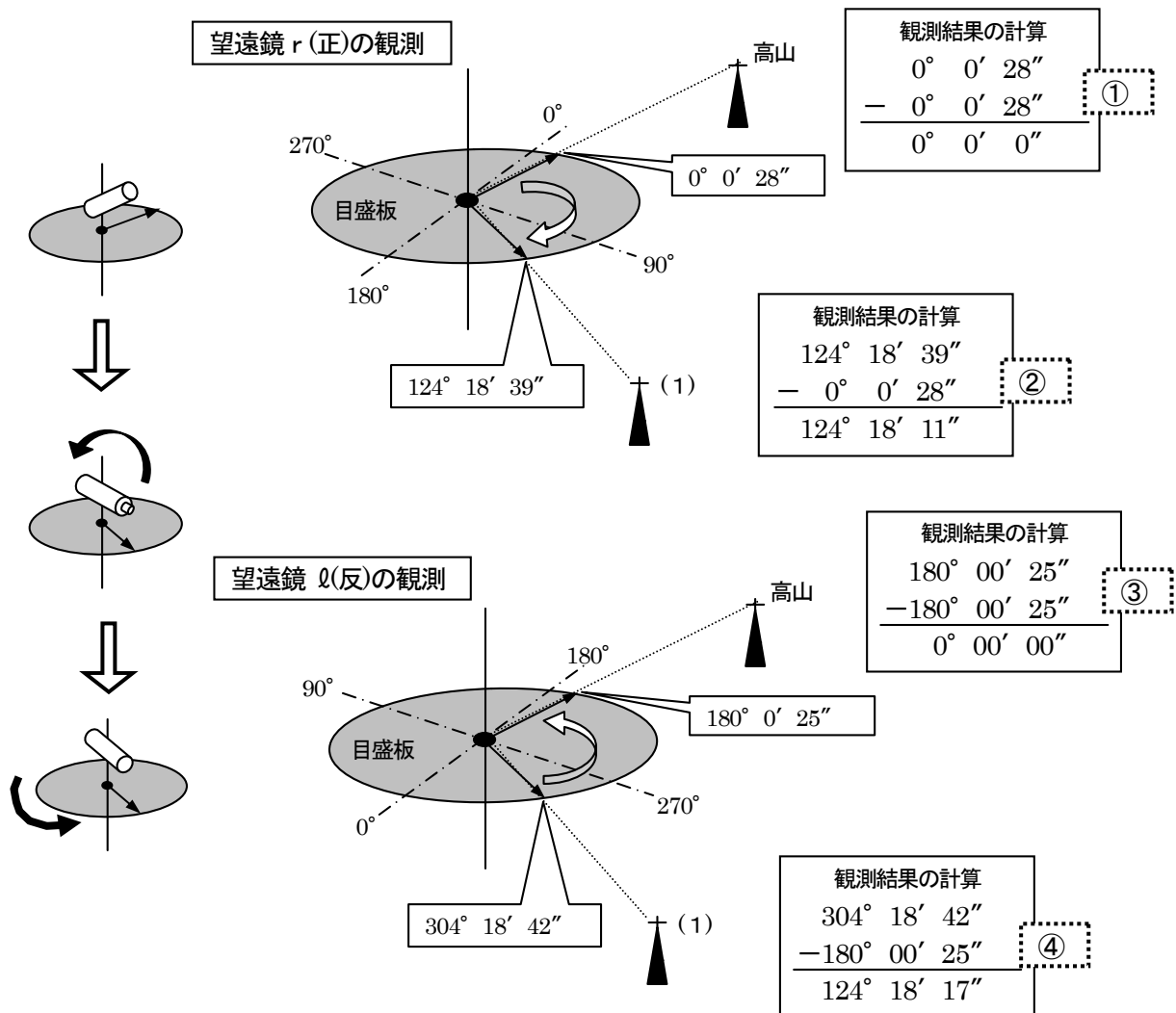
◆ 方向観測法による水平角の観測作業 ★★★

基準点測量における水平角観測の実施において、トランシットやトータルステーションを用いる場合は、方向観測法を用いて、1 視準 1 読定、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、次の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		$90^{\circ} 2' 33''$	$-90^{\circ} 2' 33''$	$0^{\circ} 0' 0''$	

※ 計算結果がー（マイナス）になる場合は、目盛板が一回転したと考えて、 $+360^{\circ}$ をする。



● 倍角差・観測差 ★★★

倍角差・観測差は、方向観測法による観測精度の良否の判定となり、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。

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

$$< \text{正 (r)} - \text{反 (l)} >$$
- ・ 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。

$$< (\text{倍角の最大値}) - (\text{倍角の最小値}) >$$
- ・ 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。

$$< (\text{較差の最大値}) - (\text{較差の最小値}) >$$

参考までに、公共測量作業規程では、基準点測量における水平角の方向観測法の許容範囲を次のように定めている。(2007 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″				
		1		180° 0′ 25″	0° 0′ 0″				
90°	ℓ	1		270° 2′ 30″	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 :
 $-6'' - (-11'') = 05''$

観測角の計算 (平均)

$$124^{\circ}18' + \frac{11''+17''+21''+10''}{4} = 124^{\circ}18' + 14.75'' \div 124^{\circ}18'15''$$

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。

● 基準点測量の観測作業と許容範囲

基準点測量における角観測の実施においては、作業規定によりその級区分ごとに対回数等の数値や許容範囲が定められている。作業規定によりこのような数値が定められている事は理解しておく必要がある。また、基準点測量は特別の場合を除いて、方向観測法により実施される。

※ これら数値は特に覚える必要はない。

基準点測量における級区分による対回数と許容範囲

	区分	1 級	2 級		3 級	4 級
			1 級 TS	2 級 TS		
水平角	読定単位	1"	1"	10"	10"	20"
	対回数	2	2	3	2	2
	水平目盛	0° , 90°	0° , 90°	0° , 60° , 120°	0° , 90°	0° , 90°
	倍角差	15"	20"	30"	30"	60"
	観測差	8"	10"	20"	20"	40"
高低角	読定単位	1"	1"	10"	10"	20"
	高度定数の較差	10"	15"	30"	30"	60"
距 離	読定単位	1 mm				
	セット数	2				
	較 差	2 cm (1 セット内の測定値 及び 各セットの平均値の較差)				

※ 国土交通省 公共測量作業規定 (H14 年) より抜粋

◆ 過去問題にチャレンジ！ (H19-1-B：士補出題)

基準点測量において、セオドライト（トランシット）を用いて、A方向とB方向の間の水平角を、表1-1のとおり2対回(①、②)観測した。ところが、観測誤差(倍角差、観測差)が許容範囲を超過したため、表1-2のとおり再測を2対回(③、④)実施した。これらの観測結果から、A方向とB方向の間の水平角の最確値として最も近いものはどれか。次の中から選べ。

ただし、許容範囲は、倍角差15″、観測差8″とする。

1. 59° 59′ 59″
2. 60° 00′ 00″
3. 60° 00′ 01″
4. 60° 00′ 02″
5. 60° 00′ 03″

表1-1

対回番号	目盛	望遠鏡	番号	視準点	観 測 角
①	0°	r	1	A	0° 00′ 05″
			2	B	60° 00′ 14″
		ℓ	2		239° 59′ 49″
			1		179° 59′ 55″
②	90°	ℓ	1		270° 01′ 13″
			2		330° 01′ 18″
		r	2		150° 00′ 58″
			1		90° 00′ 51″

表1-2

対回番号	目盛	望遠鏡	番号	視準点	観 測 角
③	0°	r	1	A	0° 00′ 55″
			2	B	60° 00′ 57″
		ℓ	2		240° 00′ 39″
			1		180° 00′ 45″
④	90°	ℓ	1		270° 00′ 30″
			2		330° 00′ 28″
		r	2		150° 00′ 43″
			1		90° 00′ 42″

< 解 答 >

① 各対回における結果を計算する。

対回 番号	目盛	望遠鏡	番号	視準点	観測角	計 算	結 果
①	0°	r	1	A	0° 00' 05"	60° 00' 14" -	0° 0' 0"
			2	B	60° 00' 14"	0° 00' 05"	60° 00' 09"
		ℓ	2		239° 59' 49"	239° 59' 49" -	59° 59' 54"
			1		179° 59' 55"	179° 59' 55"	0° 0' 0"
②	90°	ℓ	1		270° 01' 13"	330° 01' 18" -	0° 0' 0"
			2		330° 01' 18"	270° 01' 13"	60° 00' 05"
		r	2		150° 00' 58"	150° 00' 58" -	60° 00' 07"
			1		90° 00' 51"	90° 00' 51"	0° 0' 0"

対回 番号	目盛	望遠鏡	番号	視準点	観測角	計 算	結 果
③	0°	r	1	A	0° 00' 55"	60° 00' 57" -	0° 0' 0"
			2	B	60° 00' 57"	0° 00' 55"	60° 00' 02"
		ℓ	2		240° 00' 39"	240° 00' 39" -	59° 59' 54"
			1		180° 00' 45"	180° 00' 45"	0° 0' 0"
④	90°	ℓ	1		270° 00' 30"	330° 00' 28" -	0° 0' 0"
			2		330° 00' 28"	270° 00' 30"	59° 59' 58"
		r	2		150° 00' 43"	150° 00' 43" -	60° 00' 01"
			1		90° 00' 42"	90° 00' 42"	0° 0' 0"

② 各対回の倍角と較差を求める。

対回番号	測定角	倍角	較差
①	0° 0' 0"	123"	15"
	60° 00' 09"		
	59° 59' 54"		
	0° 0' 0"		
②	0° 0' 0"	132"	2"
	60° 00' 05"		
	60° 00' 07"		
	0° 0' 0"		
③	0° 0' 0"	116"	8"
	60° 00' 02"		
	59° 59' 54"		
	0° 0' 0"		
④	0° 0' 0"	119"	3"
	59° 59' 58"		
	60° 00' 01"		
	0° 0' 0"		

対回番号	倍角差	観測差	最確値
①+②	9"	13"	60° 00' 04"
②+③	16"	6"	60° 00' 02"
③+④	3"	5"	59° 59' 59"
①+④	4"	12"	60° 00' 01"

※倍角は秒数和であるため、その計算は59' にあわせて行う。例えば、60° 00' 09" は、59° 59' 69" として考える。

1・2級基準点測量では同じ輪郭（正と正など）の測定値を採用できないため、①と③、②と④の組合せを選ぶことはできない。そこで、①と④、②と③、③と④の3通りから選ぶことになるが、このうち倍角差15"と観測差8"以内を満足するのは③と④の組合せだけである。

③ 最確値を求める。

※観測に対する「重量」が全て同じ「1」であるため、単純平均でよい

$$59^{\circ}59' + \frac{62''+54''+58''+61''}{4} = 59^{\circ}59' + 58.75'' \approx 59^{\circ}59'59''$$

よって、最も近い値は「1」となる。

解答：1