

水準測量の誤差と消去法

<試験合格へのポイント>

水準測量の誤差と消去法全般に関する問題は、測量士補試験においては「定番」問題の一つである。さらに誤差全般ではなく、視準線誤差や鉛直軸誤差の内容に絞った問題も出題されているため、絶対に落とすたくはない問題でもある。

必ず「誤差の種類」と「原因」と「消去法」をセットにして覚えておく必要がある。

(★★★：最重要事項 ★★：重要事項 ★：知っておくと良い)

● レベルと標尺の誤差とその消去法（まとめ）★★★

<レベルに関する誤差>

誤差の種類	原因	消去法
視準線(軸)誤差	望遠鏡の視準線と気泡管軸が平行でないために生じる誤差	視準距離（レベルと前後標尺の距離）を等しくする。
球差	地球が球面体であるために生じる誤差	
気差	気温の変化などにより大気密度が変化するために起こる光の屈折誤差。	<ul style="list-style-type: none"> ・観測順序を、後視準→前視準→前視準→後視準とすることにより、小さくできる。 ・視準距離を短くする。 ・前後の視準距離を等しくする。
鉛直軸誤差	鉛直軸が傾いているために生じる誤差	三脚の特定の1本の向きを、同一の標尺に対向させるように据付け、観測する。 (完全に消去することはできない)
三脚の沈下による誤差	地盤の弱い場所に三脚を据付けた場合、三脚の沈下により生じる誤差	<ul style="list-style-type: none"> ・脚杭や足場によって、三脚が沈下しないようにする。 ・地盤堅固な場所に据えかえる。
視差による読取誤差	望遠鏡の対物レンズと接眼レンズの焦点が合っていないために生じる誤差	接眼レンズを調節し、十字線が明瞭に見えるようにしてから観測する
レフラクション (大気の屈折誤差)	地表面に近づくほど気温が上昇し、大気密度（光の屈折率）が小さくなるため、大気密度の大きい上方に光（視準線）が曲がる現象。	<ul style="list-style-type: none"> ・標尺の下方を視準しない。 ・視準距離を短くする。

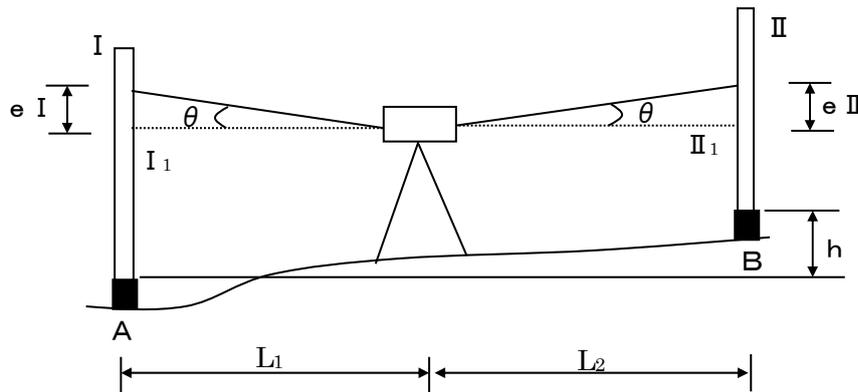
<標尺に関する誤差>

誤差の種類	原因	消去法
標尺の傾きによる誤差	標尺が鉛直に立てられていないために生じる誤差	・ 標尺を前後にゆっくりと動かし、最小読定値を読み取る。 ・ 鉛直気泡管や支持棒を用いて、標尺を鉛直に立てるようにする。
零目盛誤差 (標尺の零点誤差)	標尺底面の磨耗等により、零目盛の位置が正しくないために生じる誤差	測定回数を偶数回にする。(出発点に立てた標尺を終点に立てる)
標尺の目盛誤差	標尺の目盛が正しくないために生じる誤差	・ 所定精度の標尺を使用する。 ・ 標尺改正数により補正する。
標尺の沈下・移動による誤差	観測中の標尺の、沈下や移動により生じる誤差	標尺台を用いて、観測する。標尺台の爪を地面にしっかりと食込ませる。

特に覚える必要は無いが、以下に代表的な誤差の消去法について解説する。

● レベルと標尺の前視、後視の距離が等しくなるように整置する。

次図のように、視線が水平軸（水準器軸）より θ だけ傾いたレベルを用いて、観測を行うと仮定する。



この場合、Iの標尺を視準した場合、その誤差「 $e I$ 」の大きさは、

$$e I = L_1 \times \tan \theta \quad \text{と表すことができる。}$$

また、同じ位置にてレベルを回転させ、IIの標尺を視準するとその誤差「 $e II$ 」の大きさは、

$$e II = L_2 \times \tan \theta \quad \text{と表すことができる。}$$

ここで、前後標尺の視準距離が同じ ($L_1=L_2=L$) であるとすれば、

$L \times \tan \theta = L \times \tan \theta = e I = e II = e$ となり、誤差 e の大きさが同じになる。
このレベルを用いて、AB間の高低差 (h) を考えてみると、次のようになる。

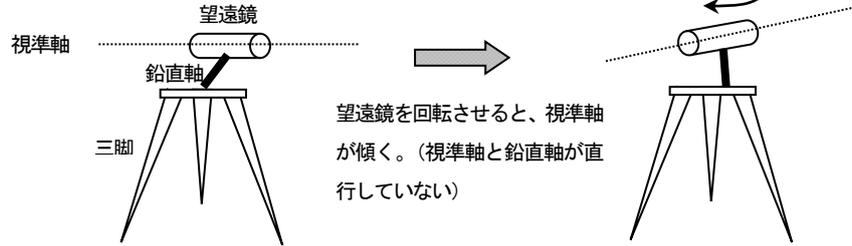
$$h = \{(I_1 - e) - (II_1 - e)\} = I_1 - \cancel{e} - II_1 + \cancel{e} = I_1 - II_2$$

これにより、視線の傾きによる誤差が消去された事がわかる。

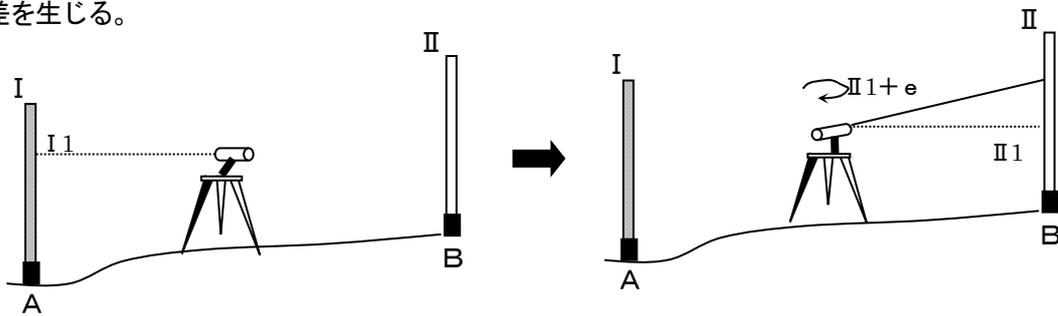
また、球差についても同様に考えられる。

● レベルの望遠鏡を常に特定の標尺に向けて観測する

レベルの鉛直軸が傾いている状態（鉛直軸誤差）を図で表すと次のようになる。

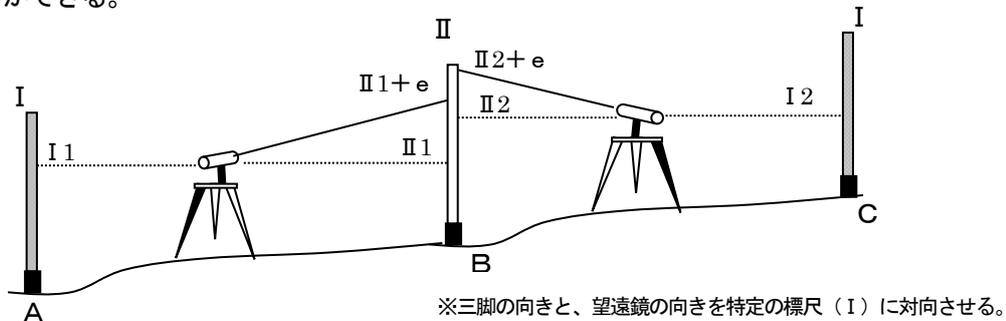


鉛直軸が傾いている（視準軸と直交していない）レベルを用いて観測すると、次図のようになり、誤差を生じる。



レベルを反転させたときに視準線が傾き、本来読むべき値 II1 より、eだけ大きい (II1+e) を読むことになる。

そこで次図のように望遠鏡と三脚の向きを特定の標尺に対向するようにすれば、その誤差は小さくすることができる。



※三脚の向きと、望遠鏡の向きを特定の標尺 (I) に対向させる。

ここで、AC間の高低差 (h) を考えると次のようになる。

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{\{I1 - (II1+e)\}}{\text{AB間の高低差}} + \frac{\{(II2+e) - I2\}}{\text{BC間の高低差}} \\
 &= I1 - II1 - e + II2 + e - I2 \\
 &= I1 - II1 + II2 - I2
 \end{aligned}$$

鉛直軸の傾きによる、誤差「e」が消去される。

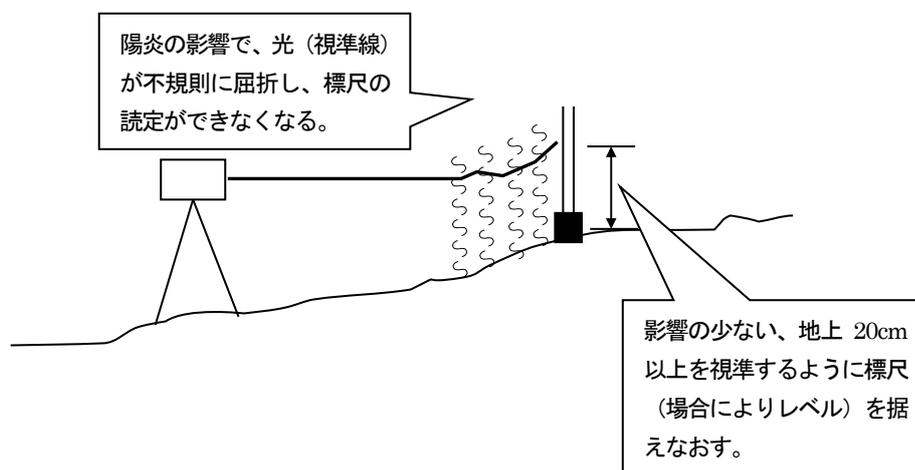
ただし前図から見ても、この式が成り立つのは、レベルと標尺が、「その前後で等間隔にあるり、一直線上にあること。」の条件が必要となるため、誤差を完全に消去することはできず、小さくすることができるだけである。

● 標尺の地表面に近い部分の視準を避ける。

大気密度は地表面に近づくほど大きくなり、大気密度が大きくなれば光の屈折率も大きくなる。つまり、光（光線）の性質から、望遠鏡を通過する光（視準線）は、大気密度の大きい地表面に向かって、屈折する事になり、正確な値を読み取ることはできない。

しかし、陽射しが強い場合（天気の良い日）は、陽炎（かげろう）が発生し易く、逆に地表面の温度上昇により、地表面付近の大気密度（光の屈折率）が小さくなり、光（視準線）は大気密度の大きい上方へと屈折してしまう。このため、標尺の読定値が大きくなる誤差を生じる。

これらの影響を回避するためには、大気の屈折による誤差の影響が少なくなるように、標尺の下部（20cm 以上：1 級水準測量の場合）の視準を行わないようにすれば良い。これにより、光の屈折の影響を最小限に留める事ができる。また、陽炎により標尺目盛が大きく揺らぐ場合も含め、視準距離を極力短くすることにより、レフラクションの影響を小さくすることができる。



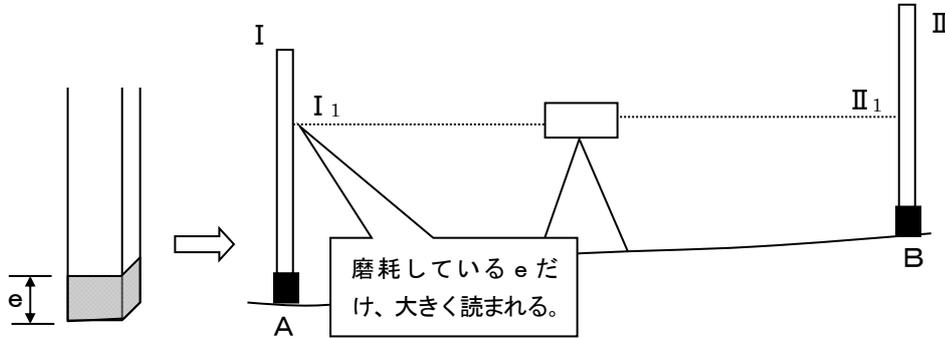
● 地盤堅固な場所にレベルを整置し、観測する。

特に記す必要は無いと思われるが、軟弱地盤上にレベルや標尺を整置すれば、観測期間中に地盤の沈下や隆起などが生じる恐れがあり、その観測値が変化してしまう。

このため、観測作業上やむを得ずこのような場所にレベル等を整置する場合には、丸太や樽木を用いて「足場」を構築するか、割グリ石等を敷き、つき固めるなどの沈下防止の処置が必要となる。

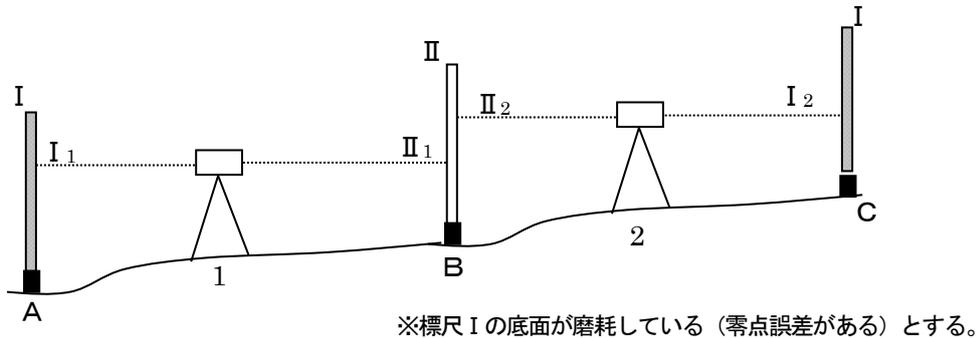
● 水準点間のレベルの整置回数を偶数回にする。

まず、底面が次図のように「e」だけ磨耗している標尺（I）を用いて観測すると考える。



この場合、AB間の高低差 h は、 $h = I_1 - II_1$ と表されるが、標尺Iの底面が、磨耗しているため、標尺Iの値（ I_1 ）は、本来の値より「 e 」の大きさだけ、大きく読まれることになる。
つまり、AB間の正確な高低差は、 $h = (I_1 - e) - II_1$ である。

底面の磨耗した標尺を用いると、上記のように、その読定値に誤差を生じることとなるが、次図のようにレベルを偶数回据付ける（2本の標尺を交互に使用し、最初に使用した標尺を最後に使用する）と、その誤差は次のように消去される。



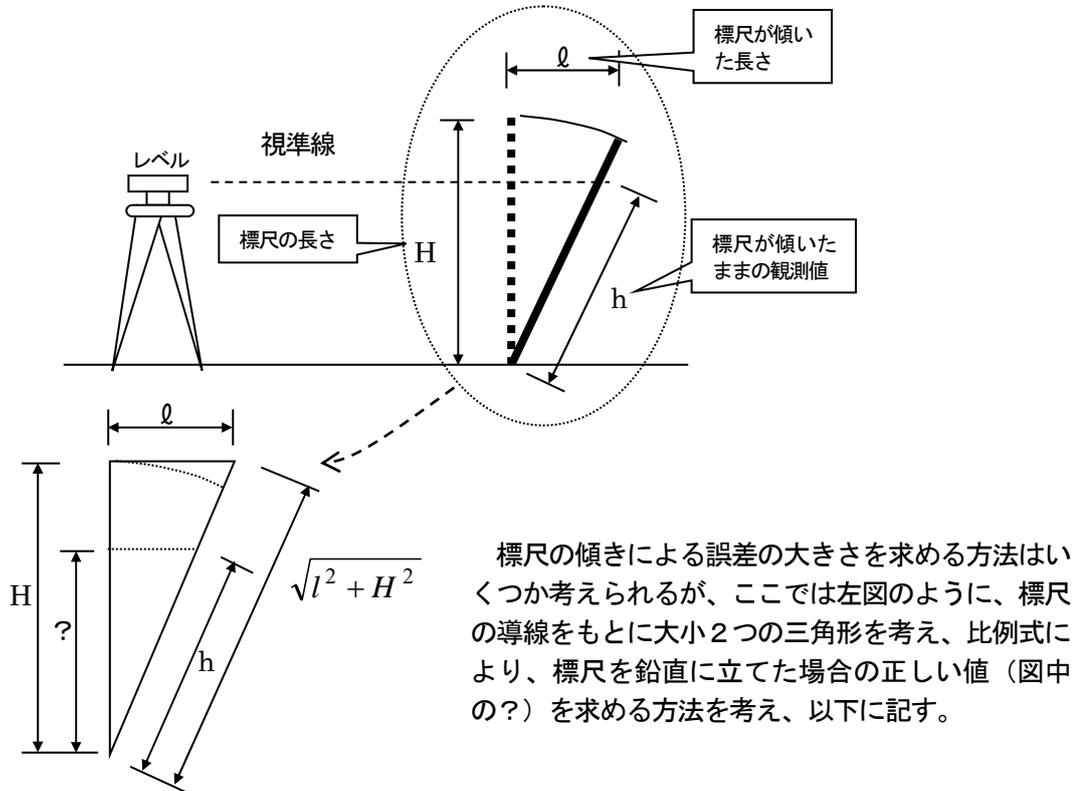
AC間の高低差（ h ）は、 $h = (I_1 - II_1) + (II_2 - I_2)$
と、表されるが、標尺Iは磨耗分の「 e 」だけ磨耗しているため、正しい高低差は次のようになる。

$$\begin{aligned} h &= \{(I_1 - e) - II_1\} + \{II_2 - (I_2 - e)\} \\ &= I_1 - \cancel{e} - II_1 + II_2 - I_2 + \cancel{e} \\ &= I_1 - II_1 + II_2 - I_2 \end{aligned}$$

これにより、よって、標尺の磨耗量「 e 」は消去される。つまり、標尺の零点誤差が消去された事が分かる。

● 標尺の傾きによる誤差の計算 ★★

まず、標尺が傾いている場合の誤差の大きさを考えると次のようになる。



まず、直角三角形における、ピタゴラスの定理※を用いて、 $\sqrt{l^2 + H^2}$ を求める。

次に、大小2つの三角形が、相似形である事を利用して、 $H : \sqrt{l^2 + H^2} = ? : h$ から、の比例式を組立て、計算すればよい。

◆ 過去問題にチャレンジ！ 1 (H27-10 : 士補出題)

次の a ~ e の文は、公共測量における水準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幾つあるか。次の中から選べ。

- a. 標尺の最下部付近の視準を避けて観測すると、大気による屈折誤差を小さくできる。
- b. 1 級水準測量及び 2 級水準測量における視準線誤差の点検調整は、観測期間中概ね 10 日ごとに行う。
- c. 自動レベル及び電子レベルについては、円形水準器及び視準線の点検調整のほかに、コンペンセータの点検を行う。
- d. 標尺は、2 本 1 組とし、往観測の出発点に立てる標尺と、復観測の出発点に立てる標尺は同じものにする。
- e. 標尺付属の円形水準器は、標尺を鉛直に立てたときに、円形気泡が中心に来るように調整を行う。

- 1. 0 (間違っているものは1つもない)
- 2. 1つ
- 3. 2つ
- 4. 3つ
- 5. 4つ

< 解 答 >

水準測量における観測作業の注意点に関する問題である。各選択肢について考えると次のようになる。

- a. **正しい**。レフラクション（大気の屈折誤差）に関する文章である。1級水準測量では、標尺の下方 20 cm以下を読定しないように定められている。
- b. **正しい**。その他に円形気泡管の点検やコンペンセータの点検（自動レベル、電子レベル）がある。
- c. **正しい**。1・2級水準測量では、観測期間中おおむね 10 日毎に行う必要がある。
- d. **間違い**。目盛誤差の差の系統的誤差を消去するため、標尺は 2 本 1 組とし往と復では入れ替えて観測し、標尺の零目盛誤差を消去するため、測点数は偶数とする必要がある。
- e. **正しい**。観測期間中おおむね 10 日毎に行う必要がある。

よって、明らかに間違っているのは、dの1つだけとなる。

解答： 2

◆ 過去問題にチャレンジ！ 2 (H28-10 : 士補出題)

次の a ~ d の文は、水準測量について述べたものである。 ~ 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。

- a. 接眼レンズで十字線が明瞭に見えるように調節し、目標物への焦点を合わせることで、
 による誤差を小さくできる。
- b. 標尺の最下部付近の視準を避けて観測すると、 を小さくできる。
- c. 誤差を消去するには、レベルと標尺の間隔が等距離となるように整置し、観測する。
- d. 誤差を小さくするには、三脚の特定の 1 本を常に同一の標尺に向けて整置し、観測する。

	ア	イ	ウ	エ
1.	視準線	地球表面の湾曲による誤差	鉛直軸	視準線
2.	視差	大気による屈折誤差	鉛直軸	視準線
3.	視準線	大気による屈折誤差	視準線	鉛直軸
4.	視差	地球表面の湾曲による誤差	鉛直軸	視準線
5.	視差	大気による屈折誤差	視準線	鉛直軸

< 解 答 >

レベルを用いた水準測量の誤差に関する問題である。正しい語句を当てはめると次のようになる。

ア：視差

望遠鏡の対物レンズと接眼レンズの焦点が合致していないために生じる誤差である。この接眼レンズの周囲のねじを、視度調節ねじ（視度環）と言う。

イ：大気による屈折誤差

地表面に近いほど大気密度が大きくなるために生じる光の屈折誤差である。1 級水準測量では、標尺の下方 20 cm以下を讀定してはならない。

ウ：視準線

望遠鏡の視準線と気泡管軸が平行でないために生じる誤差である。問題文はその消去方法である。

エ：鉛直軸

レベルの鉛直軸が傾いているために生じる誤差である。完全に消去することはできないが、軽減（累積を防ぐ）する事ができる。

よって、正しい語句の組み合わせは、5となる。

解答： 5