

光波測距儀の特徴と誤差

＜試験合格へのポイント＞

現在、光波測距儀は単体で用いられることは少なく、電子式セオドライトと一体となったもの（トータルステーション：以下TS）として用いられるのが一般的である。

光波測距儀の誤差を大別すると、観測距離に比例するものと比例しないものに分けられる。士補試験における一般的な出題は、この比例するものと比例しないものを区別するものであり、理屈はともかくとして誤差名と比例の有無を覚えてしまえばよい。しかし、誤差の原因の概略を覚えておけば、その内容から比例の有無は判断でき、理解力も上がる。「急がば回れ」言ったところであろう。

（★★★：最重要事項 ★★：重要事項 ★：知っておくと良い）

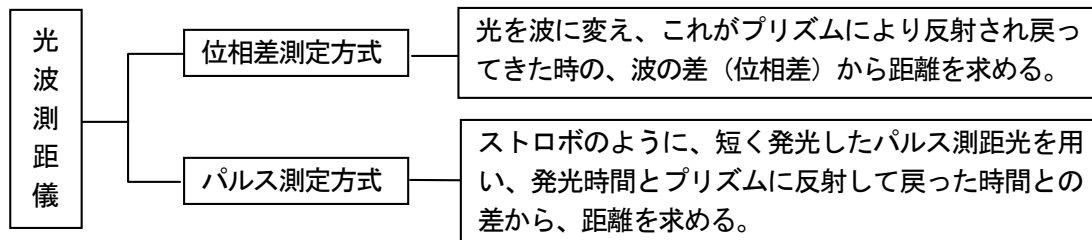
● 光波測距儀による測定距離の誤差（まとめ）★★★

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	光波測距儀の原理は、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	光波測距儀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、変調周波数は光波測距儀内部にある基準発振器から発射されている。 変調周波数の誤差とは、この基準発振器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	光波測距儀に限らず、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	プリズムは光波測距儀から発射された光を反射させる役割を持っているが、光波測距儀の器械定数同様に、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。

位相差測定誤差	光波測距儀は、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、この位相差を光波測距儀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、光波測距儀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。この致心誤差は、光波測距儀やプリズムの鉛直軸が測点鉛直線からずれている為に生じる誤差であるため、測定距離には比例しない。

● 光波測距儀の分類



※ 以降の記述は上記方法の中で、出題に多い「位相差測定方式」について述べる。

● 光波測距儀の気象誤差（比例する） ★★ ※式を覚える必要はない。

光波測距儀の気象補正は、次式により表す事ができる。

$$D = \frac{n_s}{n} \cdot D_s = D_s + (\Delta s - \Delta n) \cdot D_s \cdots \textcircled{1}$$

ここで、

D：気象補正を行った距離

D_s：気象補正をしていない距離（観測距離）

n_s：光波測距儀の採用している標準屈折率（1+Δ_s）

n：気象観測から得られた屈折率（1+Δ_n）

とする。

次に、 Δn は次式により与えられる。 $\Delta n = \alpha \cdot \frac{P}{273.15 + t} \cdot E \cdots \textcircled{2}$

ここで、

$A \cdot \alpha$: 定数 t : 気温 P : 気圧 $E : 0.6 \times 10^{-6}$

上記、①～②の式を用いて、気象条件（気温・気圧）と観測距離の関係について考えると次のようになる。

まず、①式を変形して、 $D_s = \frac{n}{n_s} \cdot D \cdots \textcircled{3}$

③式より、 $n(1 + \Delta n)$ の値が、小さくなれば観測距離（ D_s ）は短くなり、逆に、大きくなれば観測距離が長くなる事が解る。

よって、気象条件と観測距離には、

- ・ **気圧が高くなった場合** : 気圧（ P ）が高くなると、②式より、 Δn の値は大きくなる。このため、**観測距離（ D_s ）はより長く観測される事になる。**
- ・ **気温が高くなった場合** : 気温（ t ）が高くなると、②式より、 Δn の値は小さくなる。このため、**観測距離（ D_s ）は、より短く観測される事になる。**

の関係が考えられる。

◆ 気温と気圧測定の影響が観測距離に与える影響 ★★ ※最後の表以外を覚える必要はない。

光波測距儀を用いた観測においては、気温と気圧を測定し観測距離を補正する必要があるが、気温と気圧を測定する際に、どちらの測定誤差が観測距離に与える影響が大きいかを考えると、次のようになる。

例として、気圧測定における 1 hPa の誤差と、気温測定における 1℃の誤差を比較する。

ここで、気温 18℃、気圧 1013 hpa を標準として、前出の②式の α と E を無視して考えると次のようになる。

$$\Delta n = \frac{1013}{273.15 + 18} \div 3.479$$

次に、気圧測定に ± 1 hpa 誤差があった場合の Δn を考えると次のようになる。

$$\Delta n = \frac{1013 \pm 1}{273.15 + 18} \div 3.483 \text{ (3.476)}$$

また、気温測定に ± 1 ℃の誤差があった場合の Δn を考えると次のようになる。

$$\Delta n = \frac{1013}{273.15 + 18 \pm 1} \div 3.467 \text{ (3.491)}$$

ここで、標準気温、気圧の値からの差を考えると、次のようになる。

- ・ 気圧測定に ± 1 hpa 誤差があった場合の Δn への影響 ± 0.0034
- ・ 気温測定に ± 1 ℃ 誤差があった場合の Δn への影響 ± 0.0120

よって、**気圧 1 hPa の測定誤差より、気温 1℃の測定誤差のほうが観測距離に与える影響が大きい事が解る。**

また上記より、気温 1℃の誤差に相当する気圧は、約 3.5 hPa となると言える。

<別解説>

各気象要素の測定誤差が観測距離に与える影響は、簡便的に次式によって求める事もできる。

$$\Delta D \div (1.0 \Delta t - 0.3 \Delta P + 0.04 \Delta e) \times D \times 10^{-6}$$

ここで、t は気温 (℃)、P は気圧 (hPa) であるため、これからも気温の測定誤差による影響が、最も大きい事が解る。

上記の簡便式は、気温・気圧・湿度の変化が、測定距離に及ぼす量 (ΔD) を表したもので、通常の気象状況における近似式であるため、気象補正量での符号を与える ($D = D_s - \Delta D$) 必要がある。

例を挙げると、気温が Δt だけ高くなると、 $\Delta D \div 1.0 \Delta t \times D \times 10^{-6} > 0$ となるため、実際の観測長 D_s は、短くなる事を表している。

同様に、気圧が ΔP だけ高くなると、 $\Delta D \div -0.3 \Delta P \times D \times 10^{-6} < 0$ となるため、実際の観測長 D_s は、長くなる事を表している。

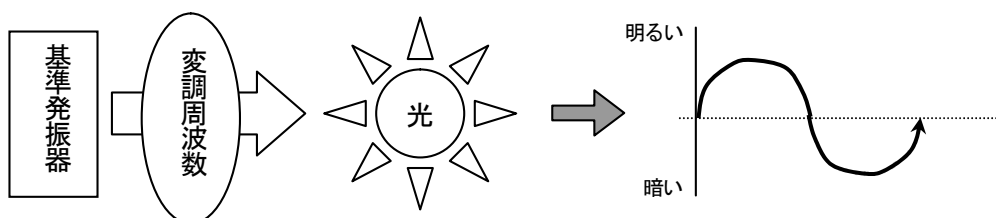
光波測距儀の気温と気圧の変化による観測距離に与える影響をまとめると次のようになる。

	観測距離に与える影響	観測距離
気 温 (t) が高くなる	大 (気圧に比較して)	短くなる
気 圧 (P) が高くなる	小 (気温に比較して)	長くなる

※この表の内容のみ覚えれば良い

● 変調周波数による誤差（比例する）

光波測距儀は、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、下図のように光に強弱（明暗）を付けることにより行われる。



基準発信器は十分な安定性が保たれ、一定の周波数を発信するようになっているが、使用等で周波数がズレることがある（変調をきたす）。このズレを「変調周波数の誤差」と呼ぶ。

変調周波数の誤差は、光を波に変えた時の波の波長に影響を与えるため、観測距離に比例して誤差が生じる。

<変調周波数の誤差を求める近似式>

$$\Delta D \approx -D \times \frac{f_0 - f}{f}$$

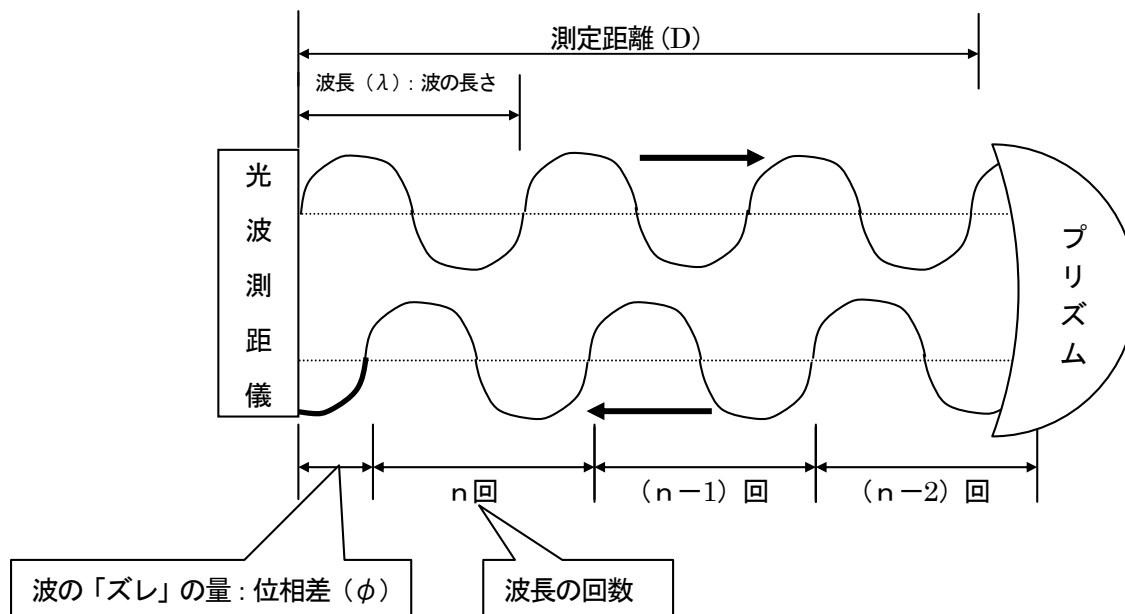
f_0 : 器械の基準周波数 f : 測定時の変調周波数
 D : 変調周波数による測定誤差 D : 測定距離

● 器械定数の誤差（比例しない）

器械定数の誤差については、別記「光波測距儀の器械定数の誤差」を参照。

● 位相差測定の誤差（比例しない）

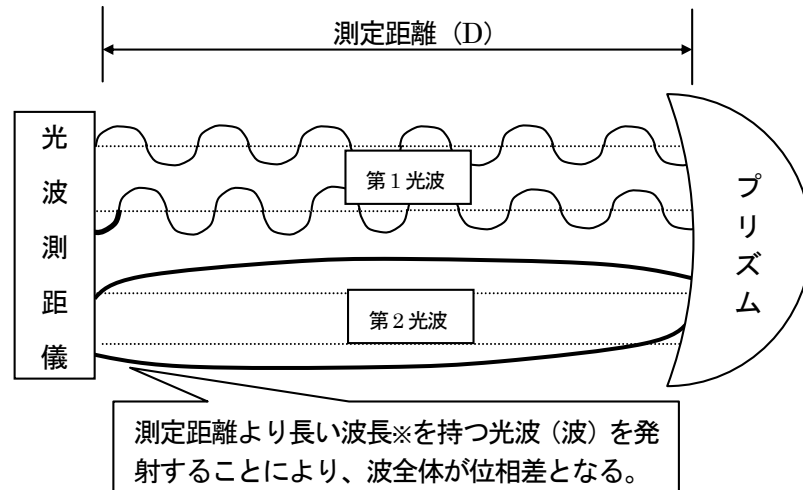
光波測距儀により、距離が測定できる原理は次のようである。



光波測距儀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、下記のように計算することにより、距離を測定することができる。

$$\text{光波測距儀の一般式} \quad 2D = \lambda \cdot n + \frac{\phi}{2\pi} \cdot \lambda$$

しかし実際には、波長が繰り返す回数（ n ）を観測することが困難であるために、下図のように、変調周波数を変化させ、波長の異なる2つ以上の光波を放射し、互いの位相差を加えることにより距離を測定する。



※ この第2光波の波長が、この光波測距儀で観測することのできる距離の限界となる。

- ◎ 波長の短い光波では、長い距離を測定することはできないが、短い距離を細かく測定することができる。

$$\left(\text{第1光波の位相差} \right) = \frac{\phi_1}{2\pi} \cdot \lambda_1$$

- ◎ 波長の長い光波では、長い距離を測定することはできるが、細かくは測定できない。

$$\left(\text{第2光波の位相差} \right) = \frac{\phi_2}{2\pi} \cdot \lambda_2$$

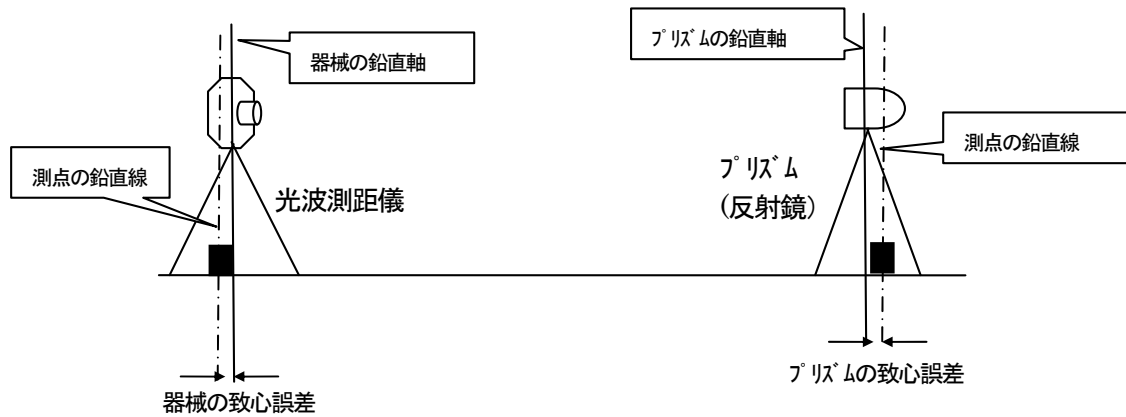
つまり、測定距離 D を求めるには、両方の光波の位相差を合計することになる。

「位相差測定誤差」とは、このような位相差を光波測距儀内部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。

● 光波測距儀とプリズムの致心誤差（比例しない）★

光波測距儀により距離を測定するためには、下図のように測点の鉛直線と器械の鉛直軸を一致させる必要がある。

この時のズレを「致心誤差」といい、観測者の据付作業の精度により決定される。据付作業を慎重に行えば、致心誤差は1 mm 以下に収めることができる。



◆ 過去問題にチャレンジ！（H17-2-A：士補出題）

次の文は、光波測距儀による距離測定の実差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. 光波測距儀の致心誤差に起因する距離測定の実差は、計算により消去できない。
2. 変調周波数の変化に起因する距離測定の実差は、測定距離に比例する。
3. 器械定数の変化に起因する距離測定の実差は、測定距離の長短にかかわらず一定である。
4. 気圧測定における 1 hPa の誤差は、気温測定における 1℃の実差に比べると、より大きな距離測定の実差を生じさせる。
5. 気象要素の測定誤差に起因する距離測定の実差は、測定距離に比例する。

< 解 答 >

問題各文について見ると次のようになる。

1. 正しい。
2. 正しい。
3. 正しい。
4. 間違い。光波測距儀の気象測定誤差の影響は、次式で表される。
$$\Delta D \div (1.0 \Delta t - 0.3 \Delta P + 0.04 \Delta e) \times D \times 10^{-6}$$
ここで、 t は気温（℃）、 P は気圧（hPa）であるため、気温の測定誤差による影響が、最も大きいことがわかる。
5. 正しい。

解答：4

◆ 過去問題にチャレンジ！（H20-2-C：士補出題）

次の文は、光波測距儀を使用した距離の測定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. 気圧が高くなると、測定距離は長くなる。
2. 気温が上がると、測定距離は長くなる。
3. 器械定数の変化による誤差は、測定距離に比例しない。
4. 変調周波数の変化による誤差は、測定距離に比例する。
5. 位相差測定による誤差は、測定距離に比例しない。

< 解 答 >

光波測距儀の誤差に関する問題である。

光波測距儀による距離測定の誤差は、次表のように測定距離に比例するものと、しないものに大別される。問題文中の a～e の各誤差について考えると次のようになる。

測定距離に比例しない	測定距離に比例する
器械定数の誤差	気象要素の測定誤差
反射鏡定数の誤差	変調周波数の誤差
位相差測定の誤差	

以下に、問題各文について見ると次のようになる。

1. 正しい。
2. 間違い。

< 解 説 >

光波測距儀の気象補正は、次式により表す事ができる。

$$D = \frac{n_s}{n} \cdot D_s = D_s + (\Delta s - \Delta n) \cdot D_s \cdots \textcircled{1}$$

ここで、D：気象補正を行った距離 D_s ：気象補正をしていない距離（観測距離）

n_s ：光波測距儀の採用している標準屈折率（ $1 + \Delta s$ ）

n：気象観測から得られた屈折率（ $1 + \Delta n$ ）

次に、 Δn は近似的に次の式により与えられる。 $\Delta n = \alpha \cdot \frac{P}{273.15 + t} \cdot E \cdots \textcircled{2}$

ここで、 $A \cdot \alpha$ ：定数 t：気温 P：気圧 E： 0.6×10^{-6}

問題文は、「測定距離」がどうなるのかを聞いているため、①式を変形して、 $D_s = \frac{n}{n_s} \cdot D \cdots \textcircled{3}$

③式より、 $n(1+\angle n)$ の値が、小さくなれば観測距離(D_s)は短くなり、逆に、大きくなれば観測距離が長くなる事が解る。

次に問題文にあるように、気温と気圧について考える。

- ・気圧が高くなった場合：気圧(P)が高くなると、②式より、 $\angle n$ の値は大きくなる。このため、観測距離(D_s)はより長く観測される事になる。
- ・気温が高くなった場合：気温(t)が高くなると、②式より、 $\angle n$ の値は小さくなる。このため、観測距離(D_s)は、より短く観測される事になる。

3. 正しい。器械定数の誤差 (測定距離に比例しない)

光波測距儀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。

4. 正しい。変調周波数の誤差 (測定距離に比例する)

光波測距儀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。光に強弱(振幅変調)を与える周波数は「変調周波数」と呼ばれ、光波測距儀内部にある基準発振器から発射されている。

変調周波数の誤差とは、この基準発振器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。

5. 正しい。位相差測定の誤差 (測定距離に比例しない)

光波測距儀は、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、この位相差を光波測距儀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。

よって、選択肢「2」が正しい。

解答：2