

## 水準測量の方法と使用機器

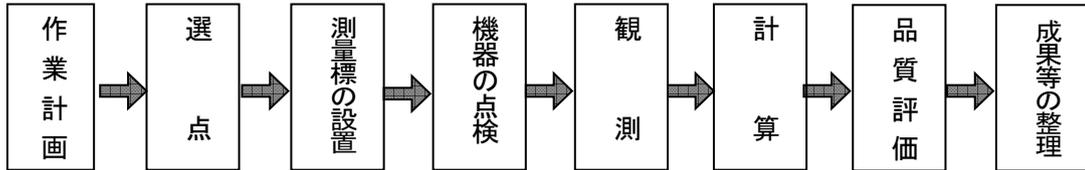
### <試験合格へのポイント>

水準測量の一般事項である「作業工程・方法」と「使用機器」に関する項目である。水準測量では、作業工程が直接出題されることは「まれ」ではあるが、その方法と使用機器の特徴は、しっかりと理解する必要がある。また、渡海（河）水準測量については、過去問題に見られるように、その概要は掴んでおく必要がある。

(★★★：最重要事項   ★★：重要事項   ★：知っておくと良い)

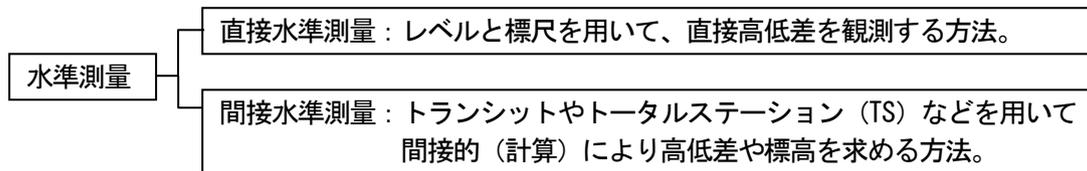
### ● 測量作業規程の準則による水準測量の作業工程

測量作業規程の準則による水準測量は、次のような作業工程で行われる。

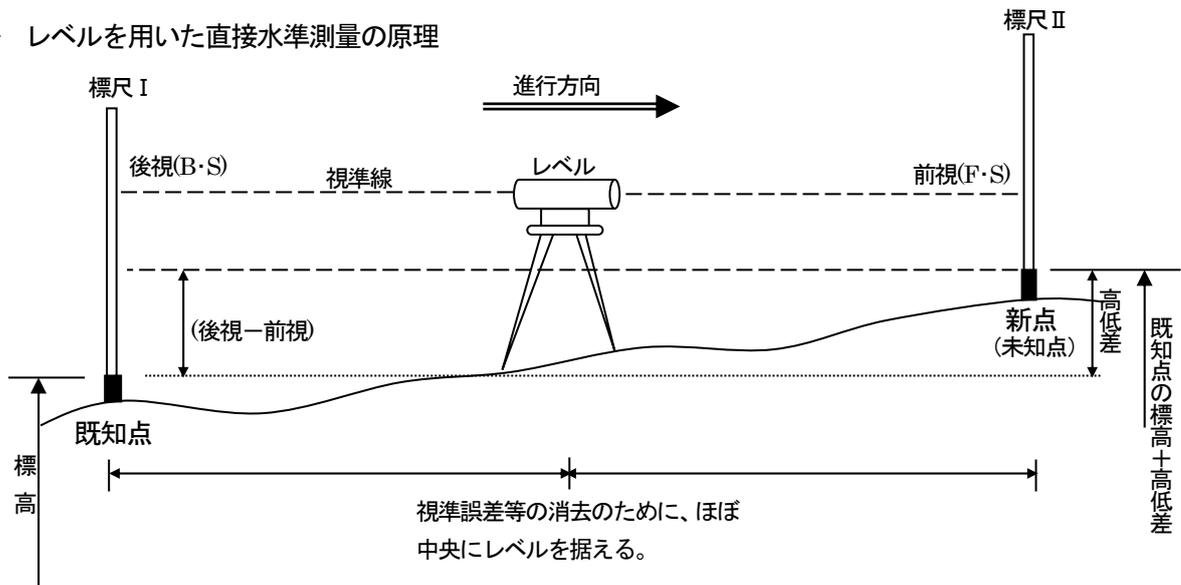


### ● 水準測量の方法 ★★★

水準測量は、一般に次のように分類される。



### ◆ レベルを用いた直接水準測量の原理



前図をもとに考えると、既知点より新点の標高を求めるには、次のように計算すればよい。

① 高低差の計算

$$(\text{高低差}) = (\text{後 視}) - (\text{前 視})$$

※ 進行方向後ろの標尺の読みから、前標尺の読みの差

② 標高の計算

$$(\text{新点の標高}) = (\text{高低差}) + (\text{既知点の標高})$$

ここで、レベルを2本の標尺の中央に据えるのは、レベルの器械誤差の一つである、「視準軸と水準器軸が平行でない場合に生ずる誤差(視準軸誤差)」や「地球が球であるために生じる誤差(球差)」を消去するためである。

※水準測量の誤差については別項目にて解説

● 直接水準測量に用いられる機器とその特徴 ★★

直接水準測量に用いられる機器には次のようなものがある。

レベル (水準儀)	標尺 (スタッフ)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ チルチング(気泡管)レベル</li> <li>・ オート (自動) レベル</li> <li>・ 電子レベル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ インバール (精密水準) 標尺</li> <li>・ アルミスタッフ、木製標尺</li> <li>・ バーコード標尺 (パターンスタッフ)</li> </ul>

ここで、チルチングレベルと、オート (自動) レベルは、従来からあるものであり、その測量精度等に応じて、インバール標尺 (1級水準測量) やアルミスタッフ (工事測量など) と組み合わせ、観測作業が行われる。

しかし、電子レベルについては、レベルと「対」になった標尺しか用いる事ができず、また、次のような特徴を持っているため、その取扱いは従来からのレベルとは異なる点が多い。また、公共測量に用いられる電子レベルは、水平を求めるだけのレーザレベルとは別に扱われる。メーカーによっては、両方を電子レベルと称している場合もあるので、注意が必要である。

1. 電子レベル及びバーコード標尺の特徴 ★★

- ・ 電子レベルはバーコード状の目盛の刻まれた標尺 (パターンスタッフ) を検出器で認識し、電子画像処理を行い高さ及び距離を自動的に読取る。
- ・ 観測作業にはその器械 (メーカー) 専用の標尺を用いる。
- ・ データコレクタやパソコンに接続することにより、観測したデータを自動記録することができる。
- ・ 電子レベルはバッテリーや電池を使用するため、作業中は予備の電源を持つ必要がある。
- ・ 望遠鏡でパターンスタッフを視準し、ピントを合わせボタンを押すだけの作業であるため、標尺の読取り誤差など、観測者個々の個人誤差が生じにくい。
- ・ 自動レベルと同様、コンペンセータを内蔵し、軽微な視準軸の傾きは補正される。

<電子レベルによる観測時の注意事項>

- ・ 太陽や建物のかげ等により、標尺に明暗（日陰）ができないようにする。
- ・ 標尺の背景に反射物（窓ガラス、ビニールハウス、看板、水面）が無いようにする。
- ・ 望遠鏡の視野に、障害物（木の葉、金網等）が無いようにする。

<電子レベルとバーコード標尺>



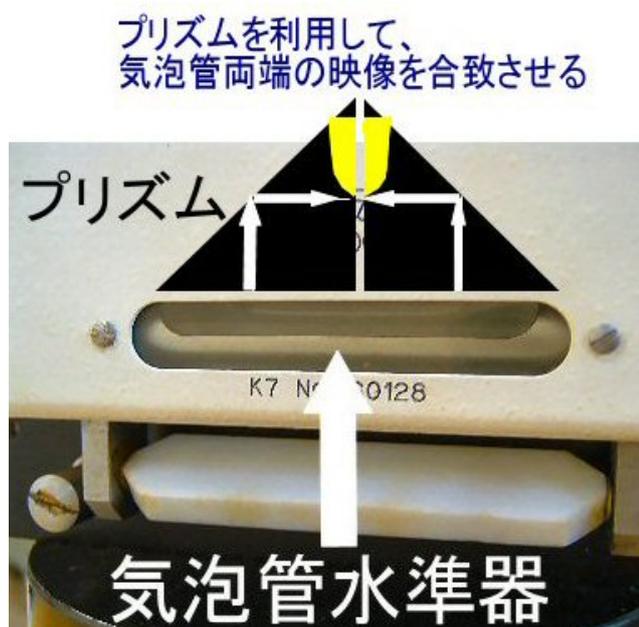
2. チルチングレベルの特徴 ★

チルチングレベルは気泡管レベルとも呼ばれ、視準線（軸）の水平調整を気泡管水準器（主気泡管）を用いて行うものである。この視準線の水平調整をおろそかにすると、水準測量の精度に直接的な影響を与えるため注意が必要である。

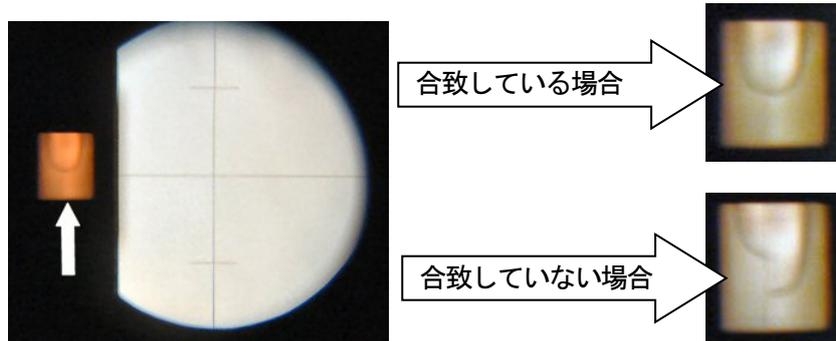
主なチルチングレベルでは、合致式気泡管が用いられており、これは次のように、プリズムを用い気泡管両端の映像を合致させることにより、直読式のものより2倍以上の精度で視準線の水平調整を行うことができるものである。



俯仰ネジをまわし、合致式気泡管水準器の両端の映像を合致させる。



気泡管両端の映像は、写真のように望遠鏡内部に見える。



### 3. オートレベルと各部の名称



オートレベルは、チルチングレベルで俯仰ネジを用いて手動で合わせていた視準線の傾きを、内蔵されたコンペンサータ（振子とオイルダンパーを組み合わせたもの）により補正可能な範囲（レベルを円形気泡管により据付けた場合）であれば、常に自動で水平な視準線を保つ事ができるレベルである。

現在では、最も一般的に用いられているレベルであり、直射日光による影響が少ない（主気泡管の不等膨張）ため作業規程の準則においても、日傘等で直射日光を遮る行為を省略できるとある。

### 4. レベルと標尺の適用 ★

作業規程の準則によれば、レベルには1～3級レベル、標尺は1～2級標尺がその性能により定められている。以下に、その適用についてまとめる。

機器	摘要
1級レベル	1～4級水準測量
2級レベル	2～4級水準測量
3級レベル	3～4級・簡易水準測量
1級標尺	1～4級水準測量
2級標尺	3～4級水準測量

5. レベルと標尺の点検 ★★

- 水準測量に用いられる観測機器は、適宜、点検及び調整を行わなくてはならない。  
 点検調整は、観測着手前に次の項目について行い、水準測量用作業電卓又は観測手簿に記録する。
- ・ 1～2級水準測量では、観測期間中おおむね 10 日毎に行う。
  - ・ 気泡管レベル（チルチングレベル）は、円形気泡管及び主水準器軸と視準線の平行性を点検
  - ・ 自動レベルや電子レベルは、円形気泡管と視準線の点検、及びコンペンセータの点検。
  - ・ 標尺付属水準器の点検

6. 過去の出題に見るレベルの特徴 ★★★

3種類のレベル（チルチングレベル・オートレベル・電子レベル）について、過去、測量士補試験に出題された問題を基に、その違いをまとめると次のようになる。

	チルチングレベル	オート（自動）レベル	電子レベル
電源（バッテリー）	不要		必要
読取装置	望遠鏡で視準し、マイクロメータ等により、読取る		望遠鏡で視準し、画像処理にて読取る
視準線の合致	チルチングネジ (または俯仰ネジ) (気泡管水準器の合致)	コンペンセータ（振子による視準線の自動調整）	
標尺	一般標尺 (インバール など)		バーコード標尺 (レベルの専用標尺)
据付作業	必 要		
視準距離	限界がある（作業規程の準則による制限）		
点検・調整	必 要		
取 扱	3種のレベルともに基本的に同じであるが、電子レベルに関しては「バッテリーの消耗」と「視野の遮断（障害物による標尺の見え方）」や「標尺の背景にある反射物」に注意する必要がある。		
観測作業	気泡管の不等膨張などによる視準軸誤差を防ぐために、洋傘などにより、直射日光が当たらない様にする (1～2 級水準測量)	コンペンセータを用いているため、これらを省略することができる。	コンペンセータを利用しているが、電子機器であるため、内部の温度上昇を防ぐ意味から、直射日光が当たらないようにする

● 渡海（河）水準測量

渡海（河）水準測量とは、河や海のため直接水準測量が実施できない場所や、谷や溪谷など、地形の関係で、前視と後視の距離が著しく異なる場所の、高低差を求める場合に行われる水準測量で、その方法により次のように分類される。

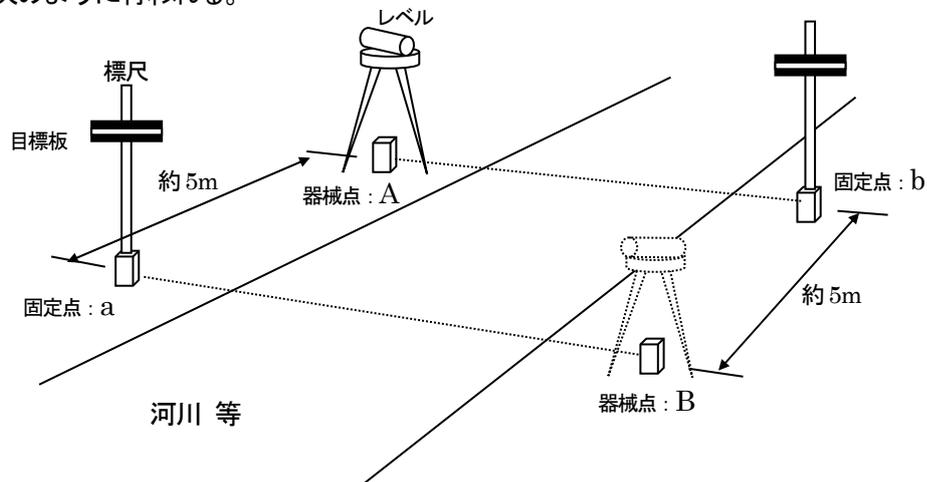
渡海（河）水準測量	交互法	レベルを用いる方法で、300m～450m 程度の渡海等に用いられる
	経緯儀法	TS やトランジットを用いる方法で、1km 程度の渡海等に用いられる
	俯仰ねじ法	チルチング（俯仰ねじ）を用いる方法で、2km 程度まで用いられる

※ 現在、俯仰ネジ(チルチング)を持つ、レベルを観測作業に用いる事は殆ど無く、渡海（河）水準測量にも、交互法又は経緯儀法が用いられるのが一般的である。ここでは、測量作業規程の準則に沿って上記3つの方法を記載した。

以下に、交互法、経緯儀法の2方法について簡単に解説する。

1. 交互法

観測距離が300m（2～4級は450m）以内の場合に用いられる方法で、1級レベルと1級標尺一組を用いて次のように行われる。



- ① 観測時間帯は、南中（太陽が南に来るとき）前3時間、後4時間。観測セット数は、 $60/S$ （ $S$  観測距離、km）回。観測日数は、 $n/25$ （ $n$  観測セット数）行う。
- ② 器械点Aにレベルをセットし、自岸（固定点：a）の標尺を1回（後視）、対岸標尺（固定点：b）を5回（前視）、さらに自岸を1回観測（後視）し、これを1セットとする。
- ③ 対岸の観測は、観測者の指示に従い、目標板を上下させてレベルの視準線に一致させ、標尺目盛を1mm単位で読取る。
- ④ 1日の観測セット数の1/2を終了した時点で、レベルを対岸（器械点：B）に移動し、同様に観測を行う。

計算方法(1セット)は、次のように行う。

番号	後視	前視	高低差
1セット	0.568	1.356	
		1.357	
		1.351	
		1.349	
	0.567	1.354	
平均	0.5675	1.3534	0.5675-1.3534 = -0.7859

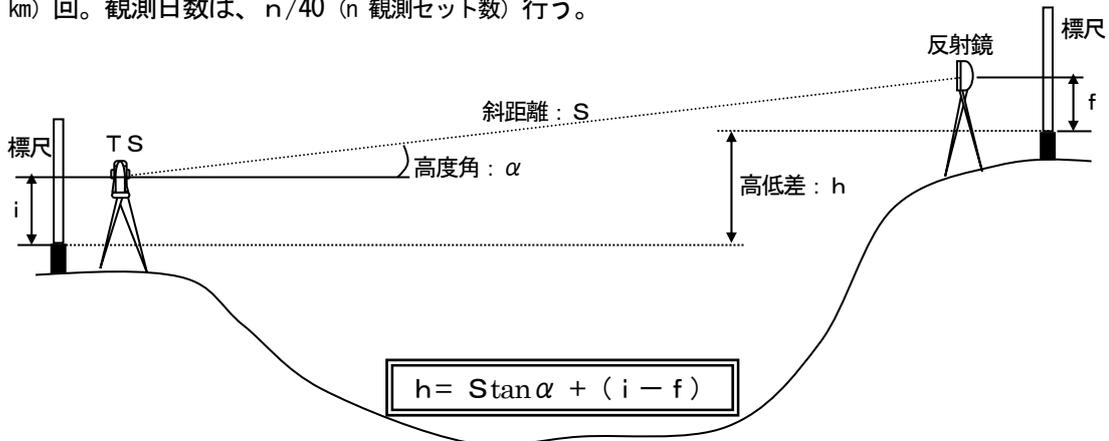
※渡海(河)水準測量の原理は、固定点Aからの観測値にある、様々な誤差(視準軸誤差等の器械誤差、気差や球差など)が固定点Bからの観測値にも同様に負の値としてあると考え、両点からの観測値を平均することにより、様々な誤差が相殺されると言う考えである。

## 2. 経緯儀法

経緯儀法は、TSやトランシットを用いて行う方法であり、その使用機材によっていくつかの方法があるが、ここではTSと反射鏡を用いた方法について述べる。

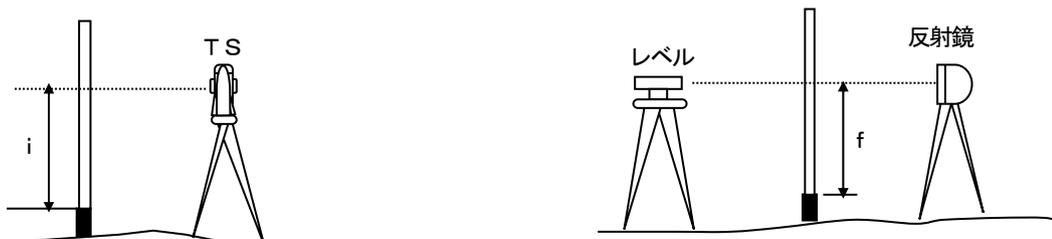
① 測時間帯は、南中(太陽が南に来るとき)前3時間、後4時間。観測セット数は、 $80/S$ ( $S$  観測距離、km)回。観測日数は、 $n/40$ ( $n$  観測セット数)行う。

②



両岸に図のようにTSと反射鏡を設置し、高度角観測により、望遠鏡正反の位置で1視準1読定を1対回とし、これを2対回行い1セットの観測とする。また、観測値はその平均値を採用する。

③ 器械高の観測は、次のように行う。



T Sの器械高は、高度角 $0^{\circ}$  の場合について、標尺の値を読取る。反射鏡の器械高は、レベルを用いて、反射鏡中心と標尺中心の値を読取る。

器械高の観測は、対岸観測の前後2回行い、その平均値を用いる。

④全てのセット数の1/2でT Sと反射鏡を入れ替えて観測する。

◆ 過去問題にチャレンジ！ 1 ( H15-3-A : 士補出題 )

次の文は、標準的な公共測量作業規程に基づく水準測量について述べたものである。

～  に入る語句はどれか。最も適当な組合せを次の中から選べ。

水準測量とは、既知点に基づき、新点である水準点の標高を定める作業である。水準測量の方式は、直接水準測量と渡海(河)水準測量に分けられる。

直接水準測量は、2本の標尺の中央で等距離の位置にレベルを整置して、後視の標尺の目盛と前視の標尺の目盛を読み取り、その観測の繰り返しによって2点間の  を直接に測定する方法である。近年は、人間の眼で直接に標尺の目盛を読み取るレベルから、専用の  標尺の目盛を自動で読み取って  を求める  が使用されるようになってきた。これにより、観測者による個人誤差がなくなるとともに、作業能率が向上するようになった。

渡海(河)水準測量は、標尺とレベル間の距離を等しくすることが困難な海や河を挟む兩岸の  を不等距離観測で求める測量方法であり、観測距離に応じて、レベルと標尺を用いる 、トータルステーション、セオドライト(トランシット)、レベル及び標尺を用いる 、俯仰ねじを有するレベルと標尺を用いる俯仰ねじ法の種類がある。これらの測量方法は、直接水準測量に比べて精度は劣るが、直接水準測量の実施が不可能なところでは有効な方法である。

	ア	イ	ウ	エ	オ
1. 高低差		インバール	自動レベル	経緯儀法	交互法
2. ジオイド比高		インバール	自動レベル	交互法	経緯儀法
3. 高低差		バーコード	電子レベル	経緯儀法	交互法
4. 高低差		バーコード	電子レベル	交互法	経緯儀法
5. 高低差		インバール	電子レベル	交互法	経緯儀法

< 解答 >

問題文の □ には次のような単語が入る。

水準測量とは、既知点に基づき、新点である水準点の標高を定める作業である。水準測量の方式は、直接水準測量と渡海(河)水準測量に分けられる。

直接水準測量は、2本の標尺の中央で等距離の位置にレベルを整置して、後視の標尺の目盛と前視の標尺の目盛を読み取り、その観測の繰り返しによって2点間の **高低差** を直接に測定する方法である。近年は、人間の眼で直接に標尺の目盛を読み取るレベルから、専用の **バーコード** 標尺の目盛を自動で読み取って **高低差** を求める **電子レベル** が使用されるようになってきた。これにより、観測者による個人誤差がなくなるとともに、作業能率が向上するようになった。

渡海(河)水準測量は、標尺とレベル間の距離を等しくすることが困難な海や河を挟む両岸の **高低差** を不等距離観測で求める測量方法であり、観測距離に応じて、レベルと標尺を用いる **交互法**、トータルステーション、セオドライト(トランシット)、レベル及び標尺を用いる **経緯儀法**、俯仰ねじを有するレベルと標尺を用いる俯仰ねじ法の種類がある。これらの測量方法は、直接水準測量に比べて精度は劣るが、直接水準測量の実施が不可能なところでは有効な方法である。

よって正しい単語の組合せは4となる。

解答：4

◆ 過去問題にチャレンジ！ 2 ( H23-10 : 士補出題 )

次の文は、電子レベル及びバーコード標尺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. バーコード標尺の目盛を自動で読み取って高低差を求める電子レベルが使用されるようになり、観測者による個人誤差が小さくなるとともに、作業能率が向上するようになった。
2. 公共測量における 1 級水準測量及び 2 級水準測量では、円形水準器及び視準線の点検調整並びにコンペンセータの点検を観測着手前及び観測期間中おおむね 10 日ごとに行う必要がある。
3. バーコード標尺付属の円形水準器は、鉛直に立てたときに、円形気泡が中心に来るように点検調整をする必要がある。
4. 公共測量における 1 級水準測量において、標尺の下方 20cm 以下を読定してはならない理由は、地球表面の曲率のために生ずる 2 点間の鉛直線の微小な差(球差)の影響を少なくするためである。
5. 電子レベル内部の温度上昇を防ぐため、観測に際しては、日傘などで直射日光が当たらないようにすべきである。

< 解 答 >

電子レベルの特長に関する問題である。以下に、問題文中の各選択肢について解説する。

また、電子レベルに関しては、「レベルによる観測作業の注意事項」中で選択肢の一つとして出題されるケースが多い。

1. 正しい。  
電子レベルは、バーコード標尺（パターンスタッフ）を検出器で認識し、画像処理を行って、高さ及び距離を自動的に読取る器械である。このため、問題文のように個々の観測者による個人誤差が小さくなるとともに、作業能率が向上するようになった。
2. 正しい。  
問題文の点検調整は、機器の調整不備による観測誤差を除くために行い、その結果を観測手簿に記録する必要がある。同様に、標尺付属水準器の点検も行う。特に、再測が頻発するようになった場合は、10日を待たずに点検調整をする必要がある。
3. 正しい。  
2の選択肢同様に、点検調整を行う必要がある。
4. **間違い。**  
1級水準測量で標尺下方 20 cm以下を読定しない理由は、大気による屈折（レフラクション）誤差の影響を小さくするためである。球差は前後標尺の距離を等しくする事によって、消去できる。電子レベルでは、観測の読定精度を確保するため、望遠鏡の視野範囲がメーカーによって定められているため、メーカーの仕様に従った観測を行う必要がある。
5. 正しい。  
電子レベルでは、内部電子部品の温度上昇を防ぐため、レベルに直射日光が当たらないようにする必要がある。また、標尺は、観測点にさほど長い時間、据付けているものではないため、観測中の直射日光に対する影響はさほど考慮しなくとも良い。

よって、明らかに間違っているのは4である。

解答： 4

◆ 過去問題にチャレンジ！ 3 ( H28-11 : 士補出題 )

次の文は、水準測量で使用するレベル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. 電子レベルは、標尺のバーコード目盛を読み取り、標尺の読定値と距離を自動的に測定することができる。
2. 自動レベルのコンペンセータは、視準線の傾きを自動的に補正するものである。
3. くい打ち法（不等距離法）により、自動レベルの視準線の調整を行うことができる。
4. 自動レベルの点検調整では、円形気泡管を調整する必要がある。
5. 自動レベルは、コンペンセータが地盤などの振動を吸収するので、十字線に対して像は静止して見える。

< 解 答 >

レベルの特徴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。

1. 正しい。バーコード標尺は電子レベルの専用標尺であり、基本的に同一メーカーの電子レベルと対になったものしか使用することができない。問題文の通り。
2. 正しい。コンペンセータは視準線と気泡管軸を振子の原理で自動的に平行（水平）に保つ装置である。問題文の通り。
3. 正しい。くい打ち法（杭打ち調整法）とは、レベルの気泡管軸と視準線が平行（水平）であるかどうかを調べる、点検・調整法である。レベル全般に用いることができる。
4. 正しい。1・2級水準測量では観測期間中おおむね10日ごとに器械の点検を行う必要がある。自動レベルの点検では、円形気泡管と視準線及びコンペンセータの点検を行う必要がある。
5. **間違い**。コンペンセータは、振子の原理により視準線と気泡管軸を平行に保つものである。地盤の振動は吸収しない。地盤の振動がある場合は、望遠鏡視野の中で像が微動する。

よって、明らかに間違っているのは5となる。

解答： 5