

ST レベル2 一般・専門問題のポイント

ST レベル2 の一次試験は、ひずみゲージ試験の実施に際して必要な基礎知識を問う一般試験とひずみゲージ試験の特徴や実施上の注意事項を問う専門試験からなる。ここでは、一般問題（問1～問3）と専門問題（問4～問6）に分けて、正答率の低い重要な問題の類題について解説する。

一般問題

問1 引張試験において、丸棒試験片の平行部の伸び変形の進行に従い減少する断面積で、荷重を除して得られる応力を何というか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 真応力 (b) 公称応力
- (c) せん断応力 (d) 集中応力

正答 (a)

通常の引張試験では、荷重変換器（ロードセル）で測定する荷重 P を試験片の初期断面積 A_0 で除して、公称応力 ($\sigma = P/A_0$) を求める。実際には引張荷重の増加と共に、試験片の平行部の断面積は徐々に減少していくため、変形中の断面積 A で除して求める応力、すなわち真応力 ($s = P/A$) が実際の応力の評価となる。したがって、正答は (a) となる。せん断応力は部材の横断面に平行に作用する応力であり、集中応力は切欠き部などが存在する部材で局部に発生する非常に大きな応力を意味する。

問2 材料定数の一つであるせん断弾性係数は、別に何と呼ぶか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 弾性限度 (b) 横弾性係数
- (c) ヤング率 (d) 比例限度

正答 (b)

これは用語の別称を問う問題である。ねじり試験から測定される試験片の弾性域のせん断応力—せん断ひずみ ($\tau-\gamma$) 関係は、フックの法則より次式で与えられる。

$$\tau = G \gamma$$

ここで、比例定数 G をせん断弾性係数または横弾性係数（剛性率）と呼ぶ。したがって、正答は (b) となる。弾性限度、ヤング率、比例限度はいずれも引張試験から決定される重要な材料定数であり、この物理的意味を問

う問題もよく出題されているので、参考書「ひずみゲージ試験 II (2017)」でよく学習してほしい。

問3 直交座標系により表示された平面応力状態での応力成分値が、 $\sigma_x = 15.75$ MPa, $\sigma_y = -4.25$ MPa, $\tau_{xy} = 17.32$ MPa であった。このとき、 $\tan 2\theta = 2\tau_{xy}/(\sigma_x - \sigma_y)$ で与えられる主応力方向 θ (°) はいくらか。下表を参考にして正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

2θ	$\tan 2\theta$
10°	0.1763
15°	0.2679
30°	0.5773
60°	1.732

- (a) $\theta = 10^\circ$ (b) $\theta = 15^\circ$ (c) $\theta = 30^\circ$ (d) $\theta = 60^\circ$

正答 (c)

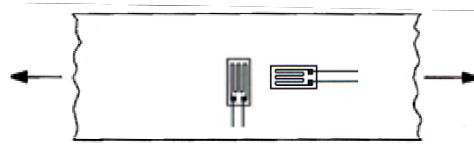
この問題では平面応力状態にある部材の主応力方向 θ の計算式が与えられているので、題意の数値を代入して計算すればよい。すなわち

$$\tan 2\theta = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} = \frac{2 \times 17.32}{15.75 + 4.25} = 1.732$$

ここで、与えられた数表をみると、 $\tan 2\theta = 1.732$ となる角度 $2\theta = 60^\circ$ となるので、 $\theta = 30^\circ$ と求まる。したがって、正答は (c) となる。もし、 $\tan 2\theta$ の数表が与えられていない場合には、電卓で逆正接関数 \tan^{-1} が計算できるように練習しておく必要がある。

専門問題

問4 下図のようにポアソン比が 0.3 の帯板試験片の中央部に、同一のゲージ率 K をもつ単軸ひずみゲージ2枚を直交させて貼付して引張試験を行い、弾性内の荷重を負荷した。この2枚のひずみゲージを対辺2アクティブゲージ法に接続したとき、ブリッジ回路の出力電圧は単軸ひずみゲージ1枚からのそれと比較してどうなるか。次の記述から正しいもの一つを選び、記号で答えよ。

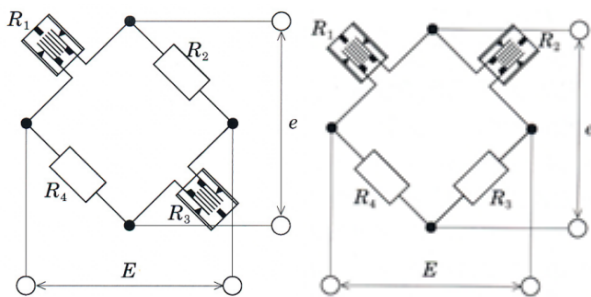


- (a) 出力電圧は 0 になる。
- (b) 出力電圧が 0.7 倍になる。
- (c) 出力電圧が 1.3 倍になる。

(d) 出力電圧が2倍になる。

正答 (b)

この問題ではブリッジ回路で2枚のひずみゲージを対辺2アクティブゲージ法(図1左)で接続すると、出力電圧 e は2枚のひずみゲージの出力電圧の和となることを理解しておく必要がある。題意では、引張荷重を受けると右側の単軸ひずみゲージから $(KE/4)\epsilon$ の電圧が出力され、左側のそれからはポアソン効果により $-0.3(KE/4)\epsilon$ の電圧が出力される(ただし、右側のひずみゲージに生ずるひずみを ϵ とする)。その2枚のひずみゲージから出力電圧の和は、 $(KE/4)\{\epsilon + (-0.3\epsilon)\} = 0.7(KE/4)\epsilon$ となり、正解は(b)となる。本来この2枚のひずみゲージの接続は2アクティブゲージ法(図1右)が一般的である。そのときは2枚のひずみゲージの出力電圧の差となり、 $(KE/4)\{\epsilon - (-0.3\epsilon)\} = 1.3(KE/4)\epsilon$ より、出力電圧が1.3倍になることに注意されたい。



対辺2アクティブゲージ法 2アクティブゲージ法
($R_1 \sim R_4$ は抵抗, E は電源電圧, e は出力電圧)

図1 ブリッジ回路での2種類のひずみゲージの結線法

問5 ひずみ測定器の搬送波(交流励振)方式とはどのような方式か。次の記述のうちから正しいものを選び、記号で答えよ。

- (a) 動ひずみ測定器の出力をパソコンへ接続する場合の信号の搬送方式である。
- (b) 動ひずみ測定器の電源電圧として交流電圧だけを用いる方式である。
- (c) R(抵抗)バランスが自動的に調整可能な装置が組み込まれた方式である。
- (d) ブリッジ回路に搬送波電圧を印加する方式である。

正答 (d)

ひずみ測定器のブリッジ回路の電源を励振する方式には、直流式と交流式(搬送波方式)の2方式がある。動

ひずみ測定器のブリッジ電源回路には、ノイズが少なく安定性のよい交流ブリッジ方式(搬送波方式)がよく使用される。動ひずみ測定器の出力処理にはアナログ式とデジタル式があり、搬送波は使用しないので、(a)は間違いである。動ひずみ測定器の電源電圧としては、直流式と交流式の2つがあるので、(b)も間違いである。(c)のR(抵抗)バランスのみ自動調整の可能な装置が組み込まれた方式は、直流式の動ひずみ測定器及び静ひずみ測定器であるので間違いである。したがって、正解は(d)となる。

問6 ひずみゲージ式変換器の設置位置から離れた場所で、ひずみ測定を行うときに使用するリモートセンシングと呼ばれる接続法は、どのような目的のために使用するものか。次の記述のうちから正しいものを選び、記号で答えよ。

- (a) リード線を長くしたときに、ひずみゲージに並列に抵抗を挿入して校正信号を出すため。
- (b) コンピュータに接続し、これからの信号により遠隔操作をしてひずみ測定をするため。
- (c) ひずみ測定器に接続し、これにより異なったゲージ率の補正を自動的に行なわせるため。
- (d) リード線を延長したときに、ブリッジ電圧の低下を検出して常に感度低下がないようにするため。

正答 (d)

ひずみゲージによるひずみ測定は、リード線抵抗値の影響を受ける。リード線抵抗はひずみゲージに直列に接続されるため、リード線に抵抗値に応じた感度低下が生じる影響と、ブリッジ回路外に接続されるリード線によるブリッジ電圧低下の影響がある。ひずみゲージ式変換器では後者の影響を受ける。その対処法の一つとして、ブリッジ電圧を測定するリード線を2本追加し、実際にブリッジ回路に作用する電圧値を検出して、その電圧値を常に一定に保ち、感度低下が生じないようにする。このような接続法を、リモートセンシングと呼ぶ。単にひずみ測定をコンピュータにより遠隔操作により自動的に行なうこと、すなわち(b)はリモートセンシングとは言わない。(a)は静ひずみ測定器に組み込まれたブリッジ平衡回路を意味し、(c)はデジタル式静ひずみ測定器に組み込まれたゲージ率設定回路を意味する。したがって、正解は(d)となる。

TT レベル 2 一般・専門試験のポイント

近年に出題された TT レベル 2 の一般試験と専門試験の問題のうち、正答率の低かった問題と類似した例題について解説する。なお、過去の NDT フラッシュ記事でも試験問題のポイントを紹介しているのでそれらも参考にしていきたい。

一般試験の類題

問 1 次は、JIS Z 2305:2013 において、TT レベル 1 技術者には実施できず、資格証明書に明記された力量の範囲で雇用主が TT レベル 2 技術者に実施の許可を与えることができる事項である。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 装置の調整
- (b) 試験方法の適用制限の明確化
- (c) 手順書の作成
- (d) 結果の報告

正答 (b)

(a) 及び (d) は TT レベル 1 技術者においても実施可能であり、(c) は TT レベル 3 技術者だけが実施できる。試験方法の適用制限の明確化は、雇用主から許可されれば TT レベル 2 の技術者が実施してもよく、正答は (b) である。その他、許可された上で TT レベル 2 技術者が実施できる主な事項を以下にまとめる。

- ・適用されるコード、規格及び TT 仕様書に基づく TT 結果の解釈と評価
- ・TT レベル 2 以下の技術者のすべての作業の実施とその監督
- ・TT レベル 2 以下の技術者の指導
- ・TT 指示書の作成

問 2 次の文は、温度伝導率について述べたものである。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 温度伝導率は、比熱が大きいほど大きくなる。
- (b) 温度伝導率は、熱伝導率とも呼ばれる。
- (c) 気体と金属（固体）の温度伝導率は、ほぼ同程度である。
- (d) 気体の温度伝導率は、液体より小さく、1/100 程度である。

正答 (c)

熱伝導によって熱が流れる非定常状態では、時間の項が必要となり、基本式は式(1)で表される。

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \quad (1)$$

ここで、 α は温度伝導率あるいは熱拡散率と呼ばれ、物体の温度変化の速さに関連した物性値であり、熱伝導率 λ 、密度 ρ 及び定圧比熱 C_p により式(2)で与えられる。

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \quad (2)$$

したがって、(a) 及び (b) は誤りである。気体の温度伝導率は、金属（固体）とほぼ同程度の値であり、液体より 100 倍程度大きい。したがって、正答は (c) である。

問 3 可視光と赤外線のおおよその境界の波長はいくらか。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 約 0.001 μm
- (b) 約 0.7 μm
- (c) 約 3 μm
- (d) 約 8 μm

正答 (b)

各電磁波と波長の関係を図に示す。赤外線は可視光とマイクロ波の間に位置している。可視光と赤外線の境界は利用分野により異なるが、おおよそ 0.72~0.78 μm とされており、正答は (b) である。

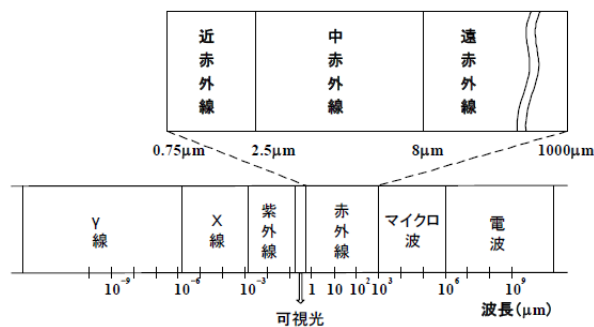


図 各電磁波と波長の関係

問 4 ステファン・ボルツマンの法則について述べたものとして、正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) ステファン・ボルツマンの法則は、ウィーンの変

位則を全波長域で積分することで導かれる。

- (b) 黒体の場合、全射出能は温度の4乗に比例する。
- (c) ステファン・ボルツマン定数の単位は $W/(m^2 \cdot K^2)$ である。
- (d) ステファン・ボルツマンの法則は、黒体の単色射出能の最大値を与える波長と温度の関係を表す。

正答 (b)

ステファン・ボルツマンの法則は、単色射出能 $E_{b\lambda}$ を表すプランクの式を式(3)の通り全波長域で積分することで導かれ、(a) は誤りである。

$$E_b = \int_0^{\infty} E_{b\lambda} d\lambda = \sigma T^4 \quad (3)$$

黒体の全射出能 E_b は式(3)の通り、温度の4乗に比例し、正答は (b) である。ステファン・ボルツマン定数 σ の単位は $W/(m^2 \cdot K^4)$ である。また、黒体の単色射出能の最大値を与える波長と温度の関係を表すのは、式(4)に示すウィーンの変位則である。したがって、(c) 及び (d) は誤りである。

$$\lambda_{max} T = 2898 [\mu m \cdot K] \quad (4)$$

専門試験の類題

問5 室温 300K の下で熱弾性係数 k が $3.0 \times 10^{-12} [1/Pa]$ の鋼材 (SS400) に対して、断熱条件下で引張荷重を瞬間的に負荷したところ、材料には主応力の変化 $\Delta\sigma = 100 MPa$ が作用した。このときの熱弾性効果による材料の温度変化 ΔT として正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) -0.009 K
- (b) -0.09 K
- (c) 0.009 K
- (d) 0.09 K

正答 (b)

熱弾性効果による温度変化は、式(5)で与えられる。

$$\Delta T = -kT\Delta\sigma \quad (5)$$

ここで、 T は材料の絶対温度である。問題文の通り、数値を代入すると

$$\begin{aligned} \Delta T &= -3.0 \times 10^{-12} \times 300 \times 10^8 \\ &= -0.09 [K] \end{aligned}$$

となり、(b) が正答である。引張の場合は温度低下が、圧縮の場合は温度上昇が生じることに注意が必要である。なお、材料の熱弾性係数 k は、線膨張係数 α 、密度 ρ 及び定圧比熱 C_P を用いて、式(6)から求めることもできる。

$$k = \frac{\alpha}{\rho C_P} \quad (6)$$

問6 次の文は、赤外線サーモグラフィ試験による電気・電力設備の設備診断について述べたものである。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 配電盤の端子に緩みがあると電流が増大することで異常発熱する。
- (b) 屋外の電力設備を夜間に設備診断する場合は、反射の影響は考慮しなくてもよい。
- (c) 動力源として用いている誘導電動機は、過負荷の状態では電流が多く流れるため過熱する。
- (d) ニッケルめっき面は放射率が低いため、周囲物体や試験技術者自身による反射の影響は小さい。

正答 (c)

電流が流れる物体に生じるジュール熱 W_J は式(7)で与えられる。 R は電気抵抗、 I は電流である。

$$W_J = RI^2 \quad (7)$$

電気設備の接続端子に緩みがあると、電流値は変わらないが電気抵抗が増加することでジュール熱が上昇するため、(a) は誤りである。誘導電動機を動力源として用いている場合は、過負荷の状態では電流が大きくなりジュール熱も増大する。よって正答は (c) である。

なお、夜間の屋外の計測で日射がなく暗闇の中であっても、自身や周囲物体からの反射には注意しなければならないため、(b) は誤りである。また、電気設備等に使用されるニッケルめっきは放射率が低く反射率が高いため、周囲からの反射には十分に注意が必要であるので、(d) は誤りである。