

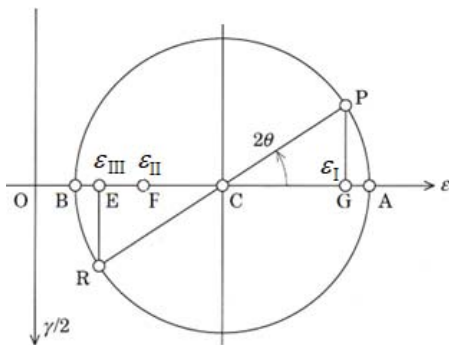
ST レベル 2 一般・専門試験のポイント

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、正答率の低い問題の類題についてそのキーポイントを解説する。なお、ST レベル 2 の類題のキーポイントについては、直近の NDT フラッシュ欄（Vol.71, No.4, 2022）にも解説があるので、ぜひ参照されたい。

一般試験の類題

問 1 下図は、3 軸ロゼットゲージで測定した平面上の 3 方向の垂直ひずみ成分の値 ($\epsilon_I, \epsilon_{II}, \epsilon_{III}$) を示すモールのひずみ円である。この図において、主ひずみ (ϵ_1, ϵ_2) の値を表している長さはどれか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) OA と OB (b) ER と GP
- (c) CP と CR (d) OC と CG



正答 (a)

この問題は、以前にも ST レベル 2 の類題として解説された。モールのひずみ円は、主ひずみ ϵ_1, ϵ_2 とその方向 q を求めるための図式解法である。モールのひずみ円では、横軸に垂直ひずみ ϵ を、縦軸にせん断ひずみ $\gamma/2$ (下向きを正) を座標軸として描く。このとき、モールのひずみ円と横軸の 2 つの交点 A, B の座標点 (長さ OA, OB) がそれぞれ主ひずみ ϵ_1, ϵ_2 となる。したがって、正答は (a) となり、(b), (c), (d) は誤りである。なおモールのひずみ円の描き方の手順は、参考書「ひずみゲージ試験 II (2017)」を参照されたい。

問 2 ねじり荷重を受ける車軸 (縦弾性係数 E , ポアソン比 ν) の表面に軸に対して 45° 方向に単軸ひずみゲージを接着して、主ひずみ ϵ_1 を測定した。この軸の表面

に作用するせん断応力 τ は、どのような式で表示されるか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。ただし、 G と γ は剛性率とせん断ひずみであり、 $G = E/2(1 + \nu)$, $\gamma = 2\epsilon_1$ の関係がある。

- (a) $\tau = \frac{E}{1-\nu} \epsilon_1$ (b) $\tau = \frac{E}{1+\nu} \epsilon_1$
- (c) $\tau = \frac{1+\nu}{E} \epsilon_1$ (d) $\tau = \frac{1-\nu}{E} \epsilon_1$

正答 (b)

ねじり荷重を受ける車軸に生じるせん断応力に関する問題は、以前にも ST レベル 2 の類題として解説された。この問題では、車軸表面におけるせん断応力の計算式が問われている。弾性域におけるせん断応力 τ とせん断ひずみ γ の関係は、フックの法則から

$$\tau = G \gamma \tag{1}$$

となる。せん断ひずみ γ と主ひずみ ϵ_1 の関係は、問題文から $\gamma = 2\epsilon_1$ となるため、これを式 (1) に代入すると

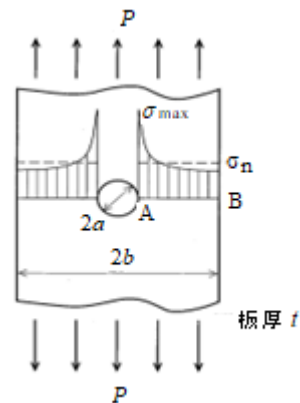
$$\tau = 2G \epsilon_1 \tag{2}$$

となる。さらに問題文から、 $G = E/2(1 + \nu)$ の関係があるので、これを式 (2) に代入すると、せん断応力は

$$\tau = \frac{E}{1+\nu} \epsilon_1 \tag{3}$$

と書ける。したがって、式 (3) から正答は (b) となる。

問 3 下図に示すような幅 $2b = 80 \text{ mm}$, 板厚 $t = 5 \text{ mm}$, 直径 $2a = 20 \text{ mm}$ の円孔のある帯板が、 $P = 15 \text{ kN}$ の引張荷重を受けている。最小断面 (= $2b - 2a$ の断面) における平均応力 (公称応力) σ_n を基準とした円孔の縁 (点 A) の応力集中係数 $\alpha (= \sigma_{\max} / \sigma_n)$ を求めると、2.4 であった。このときの最大応力 σ_{\max} はいくらか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。



- (a) 50 MPa (b) 100 MPa
- (c) 120 MPa (d) 150 MPa

正答 (c)

円孔を有する帯板の応力集中問題は、以前にも ST レベル 2 の類題として解説された。この問題では、与えられた応力集中係数 α から円孔の縁(点 A)に発生する最大応力値が問われている。最小断面における平均応力(公称応力) σ_n は

$$\sigma_n = \frac{P}{2(b-a)t} = \frac{15\,000}{2(40-10)5} = 50 \text{ (N/mm}^2\text{: MPa)} \quad (4)$$

となる。最大応力 σ_{max} は、与えられた応力集中係数 α を用いて、式(4)からつぎのように求まる。

$$\sigma_{max} = \alpha \sigma_n = 2.4 \times 50 = 120 \text{ (MPa)} \quad (5)$$

したがって、式(5) から正答は (c) となる。

専門試験の類題

問 4 ブリッジ回路の電源方式として直流を印加した場合の次の記述のうち、正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 初期平衡には容量平衡もとる必要がある。
- (b) 搬送波方式とも称されている。
- (c) 初期平衡は抵抗だけのバランスでよい。
- (d) 応答周波数が搬送波方式に比べて低い。

正答 (c)

図 1 に示すような直流式ブリッジ回路の初期平衡は、抵抗だけの平衡を取ればよい。したがって、正答は(c)となる。(a), (b), (d) は搬送波を使用する交流式ブリッジ回路の説明であり、いずれも誤りである。ブリッジ回路における直流方式と交流方式の違いを、理解しておくことが重要である。

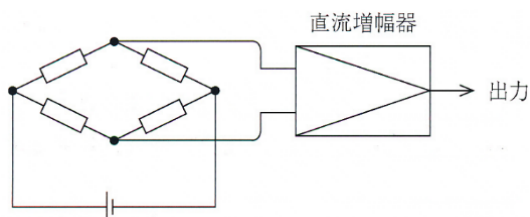


図 1 直流式ブリッジ回路図

問 5 半導体ひずみゲージを使用した荷重変換器の特徴に関する次の記述のうち、正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) ひずみゲージが小さいため、周波数応答性が低い。
- (b) 箔ひずみゲージなどの金属抵抗ひずみゲージに比較してゲージ率が非常に大きいので、温度の影響

を受けにくい。

- (c) 出力が大きいため、増幅装置を省略して測定系を簡略化することができる。
- (d) 専用の増幅器が必要である。

正答 (c)

半導体ひずみゲージは一般の箔ひずみゲージと比較して、次のような特徴を有する。

- 1) ゲージ率が大きい ($-100 < K < 225$) 。
- 2) 抵抗値の範囲が広い ($60 \Omega < R < 10 \text{ k}\Omega$) 。
- 3) 小型ゲージが作製できる。
- 4) ゲージ率を正又は負とすることが可能である。
- 5) 抵抗温度係数が大きく、温度依存性が大きい。
- 6) ゲージ率がひずみ値と温度に依存する。
- 7) 測定可能なひずみ限界が小さい。

以上の特徴を満足する正答は、(c)となる。(a)は ゲージが小さいため、周波数応答性が高いので、「周波数応答性が低い」の記述が誤りとなる。(b)は6)の記述に反するため、誤りである。(d)は1)の記述から、ひずみの出力電圧は大きく増幅器を必要としないため、誤りである。

問 6 ひずみゲージ接着後の確認作業に関する次の記述のうち、正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) ゲージリードやリード線が断線している場合の絶縁抵抗値を測定すると、この値が零になっている。
- (b) 接着が完全であれば、ひずみゲージ表面を上から軽く押したときの指示値が大きく変化する。
- (c) ひずみゲージが良好な接着をされていれば、測定器に接続したときに平衡がとれ、零点が安定している。
- (d) ゲージリードなどで短絡していると、絶縁抵抗を測定したときの値が無限大になっている。

正答 (c)

正確なひずみゲージ測定には、ひずみゲージ接着後の確認作業が重要である。(a)ゲージリードやリード線が断線している場合の絶縁抵抗値を測定すると、無限大となる。(b)ひずみゲージの測定物への接着が完全であれば、ひずみゲージ表面を上から軽く押したときの指示値は変動しない。(d)ゲージリードなどで短絡していると、絶縁抵抗を測定したときの値がゼロになる。いずれの記述も誤りである。したがって、正答は(c)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、空間分解能の単位を示したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) ミリメートル (mm)
- (b) ミリラジアン (mrad)
- (c) ミリメートルスクエア (mm²)
- (d) ミリメートルの逆数 (1/mm)

正答 (b)

空間分解能は図 1 に示す通り、1 画素 (最小検知寸法) あたりの視野角 (最小視野角) であり、単位は角度となる。一般にはミリラジアン単位で表されることが多く、正答は (b) となる。

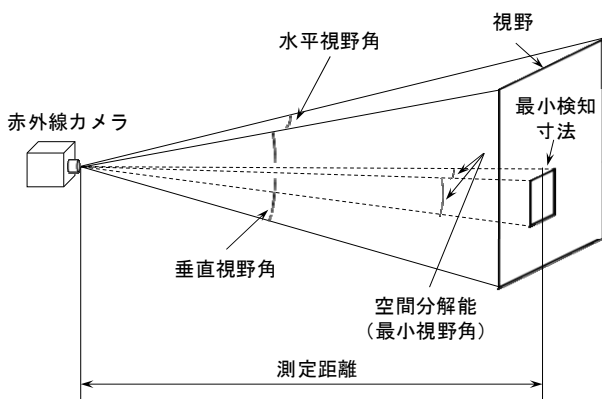


図 1 空間分解能と視野角の関係

問 2 次は水平 640 画素×垂直 480 画素のアレクサセンサーを搭載した水平視野角 20° の赤外線サーモグラフィ装置の空間分解能を示したものである。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 0.27 mrad
- (b) 0.36 mrad
- (c) 0.55 mrad
- (d) 0.73 mrad

正答 (c)

図 1 から、空間分解能と、水平視野角または垂直視野角の関係は次の通り表すことができる。

$$\text{水平視野角} = \text{空間分解能} \times \text{水平画素数}$$

$$\text{垂直視野角} = \text{空間分解能} \times \text{垂直画素数}$$

したがって、問題文で与えられた水平視野角を用いて空間分解能を求めると

$$\begin{aligned} \text{空間分解能} &= \text{水平視野角} / \text{水平画素数} \\ &= 20^\circ \times (2\pi / 360^\circ) / 640 \\ &= 0.55 \text{ (mrad)} \end{aligned}$$

と求められ、正答は (c) である。

問 3 次は、プランクの法則が表しているものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 黒体の全射出能
- (b) 黒体の単色射出能
- (c) 単色射出能が最大となる波長
- (d) 物体の吸収率と放射率が等しいこと

正答 (b)

(a), (b), (c), (d) はそれぞれステファン・ボルツマンの法則、プランクの法則、ウィーンの変位則、キルヒホッフの法則を説明しているものであり、正答は (b) である。伝熱現象を表す法則 (式) はいくつかあるが、試験の前には参考書 (非破壊検査技術シリーズ: 赤外線サーモグラフィ試験 II) で改めて確認していただきたい。

問 4 室温 20°C の機械構造用炭素鋼 S45C の丸棒に対して素早く軸力を作用させたところ、熱弾性効果により温度が 88 mK 上昇した。次は、その際に生じた主応力の変化量を表している。S45C の熱弾性係数は 3.0×10^{-12} (1/Pa) とする。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 約 10 MPa
- (b) 約 100 MPa
- (c) 約 -10 MPa
- (d) 約 -100 MPa

正答 (d)

熱弾性効果による温度変動 ΔT での主応力の変化量 $\Delta \sigma$ は式 (1) で与えられる。

$$\Delta \sigma = -\Delta T / kT \quad (1)$$

ここで、 k は材料の熱弾性係数、 T は材料の絶対温度であ

る。式 (1) に $k=3.0 \times 10^{-12}$ (1/Pa), $T=293$ (K), $\Delta T=88$ (mK) を代入すると, $\Delta\sigma=-100$ (MPa) が得られる。多くの材料の熱弾性係数は正の値であり, 引張りが作用すれば温度降下, 圧縮が作用すれば温度上昇が生じる。なお, 鋼材などの主要材料における応力変化と熱弾性温度変化のおおまかな関係についてはぜひ知っておいていただきたい。

専門試験の類題

問5 次の文は, 赤外線サーモグラフィ試験によって検知できない電気・電力設備の異常を示したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 配線端子の接続不良
- (b) 変電設備における碍子の損傷による短絡
- (c) 誘導電動機を動力源に用いた際の過負荷状態
- (d) 三相交流電源の逆相接続

正答 (d)

電気設備において, 接続端子の接続不良や接点の緩み等は電気抵抗の増加に起因するジュール熱の発生により, 異常の検出が可能である。よって (a) と (b) は検出可能な異常となる。(c) は, 誘導電動機の原理として, 過負荷状態では電流が多く流れるため過熱され, 検出可能となる。(d) の逆相接続では, 一般に温度変化を伴わないため検出不可能である。よって正答は (d) となる。電気設備の検査は, 主に通電中の発熱検出に基づいて行われるため, 稼働中の状態監視に基づく保守を要請されることが多い。

問6 次の文は, 設備診断の方法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) 一定周期ごとに設備の補修を行う方式は, リスクベース保全と呼ばれる。
- (b) 一定周期ごとに設備の補修を行う方式は, 強度基準保全と呼ばれる。
- (c) 設備診断技術によって設備の劣化状態を観測して補修のタイミングや範囲を決定する方式は, 状態基準保全と呼ばれる。
- (d) 設備診断技術によって設備の劣化状態を観測して補修のタイミングや範囲を決定する方式は, 時間基準保全と呼ばれる。

正答 (c)

一定周期ごとに設備の補修を行う方式は時間基準保全と呼ばれ, (a), (b), (d) は誤りである。設備診断技術によって設備の劣化状態を観測して補修のタイミングや範囲を決定する方式を状態基準保全と言い, 正答は (c) である。リスクベース保全は, 設備の老朽化や劣化損傷による故障リスクの評価結果に基づいて保全や検査の計画等を行う手法である。

問7 次の文は, 赤外線サーモグラフィ試験に関する規格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) 工業分野における非破壊試験に関する主な用語は, NDIS 3005 に規定されている。
- (b) 赤外線サーモグラフィ試験に関する標準用語は, JIS Z 2305 に規定されている。
- (c) NDIS 3427 は, 構造物, 部材及び材料などの赤外線サーモグラフィ試験を行う場合の一般事項について規定している。
- (d) 建築・土木構造物の浮きやはく離に対して適用可能な赤外線サーモグラフィ試験に関する規格は, 制定されていない。

正答 (c)

非破壊試験全般に関する用語は, JIS Z 2300「非破壊試験用語」に, 赤外線サーモグラフィ試験に関する用語は, NDIS 3005「赤外線サーモグラフィによる非破壊試験の標準用語」にそれぞれ記載されており, (a), (b) は誤りである。建築・土木構造物については NDIS 3428「赤外線サーモグラフィ法による建築・土木構造物表層部の変状評価のための試験方法」で規格化されており, (d) も誤りである。NDIS 3427「赤外線サーモグラフィ試験方法通則」には, 赤外線サーモグラフィを用いた各種試験の試験方法に関する一般事項が記載されている。したがって, 正答は (c) である。