

E T レベル 2 一般・専門試験のポイント

JIS Z 2305:2013「非破壊試験技術者の資格及び認証」に基づく ET レベル 2 の新規一次試験は、主に参考書である『渦電流探傷試験II』から出題される。本稿では、最近行われた試験のうち、正答率の低かった問題に類似した例題により解答のポイントを解説する。

一般試験の類題

問 1 次の文は、渦電流探傷試験でブリッジの平衡をとる理由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) 増幅器への入力が増大になり、出力がひずむのを防ぐためである。
- (b) 試験コイルに過大な電流が流れないようにするためである。
- (c) フィルタを効果的に動作させるためである。
- (d) 信号の位相を調整するためである。

正答 (a)

ブリッジの出力電圧は、増幅器で信号を増大させたのちに同期検波器で処理が行われる。増幅器は、入力電圧に比例した電圧を出力するが、過大な入力では、増幅回路の出力が飽和するために出力がひずみ、以降の信号処理が正確に行えない。それを避けるため、ブリッジの平衡をとることで信号の変化分のみを増幅させることが可能になる。したがって、正答は (a) である。

問 2 次は、非磁性体を内部に含む無限長ソレノイドにおける正規化周波数 F において、そのパラメータに含まれない因子について示したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 試験体の導電率
- (b) 試験体の半径
- (c) 試験周波数
- (d) 透磁率

正答 (b)

正規化周波数 F は次式で表される。

$$F = 2\pi f \mu \sigma a^2 \quad (2-1)$$

ここで、 f は試験周波数、 μ は試験体の透磁率、 σ は試験体の導電率、 a は試験コイルの半径である。 F は試験体の半径に依存しない。したがって、正答は (b) となる。

一方、渦電流試験の状態を表す別の重要なパラメータとして特性周波数 f_c があり、次式で表される。

$$f_c = \frac{1}{2\pi \mu \sigma b^2} \quad (2-2)$$

ここで、 b は試験体の半径である。 f_c は試験周波数 f や試験コイルの半径 a に依存しない。 f_c と F の間には次式のような関係が成り立つ。

$$f/f_c = F \left(\frac{b}{a}\right)^2 \quad (2-3)$$

f/f_c や F は試験体と試験コイルの幾何学的形状と試験周波数や試験体の材質などを含めた一つの指標となっているため、正規化インピーダンス図において、これらを用いて整理することは有効である。

問 3 次は、半径 a (m) の 1 巻きの円形コイルに I (A) の電流を流したときの、円形コイルの中心における磁界の強さ H (A/m) を表す式について示したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。ただし、 μ_0 は真空の透磁率である。

- (a) $H = \frac{I}{2a}$
- (b) $H = \frac{I^2}{2a}$
- (c) $H = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}$
- (d) $H = \frac{I}{2\pi a}$

正答 (a)

図 3-1 に示すように、半径 a (m) の円形コイルに電流 I (A) が流れているとする。その一部の素片電流 Idl が原点に作る磁界 dH は、素片電流から原点へのベクトルを \mathbf{r} とすると、ビオ・サバルの法則より次式で表される。

$$dH = \frac{I dl \times \mathbf{r}}{4\pi r^3} \quad (3-1)$$

ここで、ベクトル dH の方向は、ベクトル $d\mathbf{l}$ 、 \mathbf{r} がなす平面に対し垂直であり、 $d\mathbf{l}$ を \mathbf{r} まで回転させた時に右ネジの進む方向、つまり z 軸方向である。ベクトル dH 、 $d\mathbf{l}$ 、 \mathbf{r} の長さをそれぞれ dH 、 dl 、 r とし、 $d\mathbf{l}$ と \mathbf{r} のなす角を θ とすれば、 dH は次式で表される。

$$dH = \frac{I dl \cdot r \sin \theta}{4\pi r^3} = \frac{I dl \sin \theta}{4\pi r^2} \quad (3-2)$$

式 (3-2) を積分し、また、 $d\mathbf{l}$ と \mathbf{r} のなす角 θ は円周上の任意の位置において常に $\pi/2$ であることから、原点における z 軸方向の磁界の強さ H (H/m) は次式で表される。

$$H = \int_0^{2\pi r} \frac{I}{4\pi r^2} dl = \frac{I}{4\pi r^2} \cdot 2\pi r = \frac{I}{2r} \quad (3-3)$$

一方、 $r = a$ である。したがって、正答は (a) となる。なお、(d) は無限長直線電流から距離 a 離れた点での磁界を表す式である。両式とも重要な公式である。混同せずに覚えておきたい。

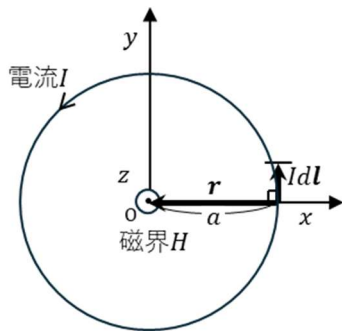


図 3-1 半径 a の円形電流中心の磁界

専門試験の類題

問 4 次の文は、内挿プローブによる熱交換器の探傷に用いられる多重周波数渦電流探傷試験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) 管の内表面に起因する雑音を消去する場合は、基準の周波数とそれよりも 2~4 倍程度高い周波数を使用するのが一般的である。
- (b) 支持板等の雑音を消去する場合は、基準の周波数とそれよりも 2~4 倍程度高い周波数を使用するのが一般的である。
- (c) 支持板等の雑音を消去する場合は、周波数に関係なく位相を 180° 回転させた交流を加え、出力を調整する。
- (d) 管の内表面に起因する雑音を消去する場合は、基準の周波数とそれよりも 1/2~1/4 倍程度低い周波数を使用するのが一般的である。

正答 (a)

多重周波数渦電流探傷試験法においては、まず、不要となる雑音の原因が存在しない状態において、きずの検出に適した基準の周波数 f_1 を選び、もう一つの試験周波数 f_2 の選定方法は、より雑音の影響を受けやすい周波数とする。そのため、雑音の原因が試験体の内面にある場合は、 f_1 より高い周波数を、試験体の外部にある支持板等が雑音の原因の場合は、 f_1 より低い周波数を用いる。 f_2 の周波数は、 f_1 の 2~4 倍あるいは 1/2~1/4 倍の範囲で用いられるのが一般的である。したがって、正解は(a)である。

問 5 次は、渦電流探傷試験に関連して行われる点検、調整又は測定において、対比試験片を使わないで実施される内容について示したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 渦電流試験器の電気的特性の測定
- (b) 試験条件の調整
- (c) プローブの心出し調整
- (d) 試験装置の総合性能の測定

正答 (a)

対比試験片は、試験体と同一あるいは同等な材料に主として人工きずを加工したものである。渦電流探傷試験装置の心出し、感度などの調整及び探傷条件の調整、設定は対比試験片を用いて行うため、(b)や(c)は不正解である。また、渦電流探傷試験装置の購入時、あるいは保守管理のため、対比試験片を用いて総合性能を測定するため、(d)は不正解である。一方、渦電流試験器の電気的特性の測定とは、渦電流試験器の信号処理段の帯域幅や位相直線性、利得設定精度、位相設定精度などの電気的特性の測定のことであり、対比試験片を使用する必要はない。したがって、正答は(a)である。

問 6 次の文は、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) JIS G 0583:2021 は、継目無鋼管及び溶接鋼管のきずの自動渦電流探傷検査方法について規定した規格である。
- (b) JIS Z 2300:2020 は、渦電流試験プローブ及びその接続要素の電気的・機能的な特性を定義し、それらの特性の測定及び検証の方法について規定した規格である。
- (c) JIS Z 2316-1:2014 は、製品の要求事項を規定した規格である。
- (d) JIS Z 2316-1:2014 は、非破壊試験に関する主な用語及びその定義について規定した規格である。

正答 (a)

JIS Z 2300:2020 は、工業分野において用いる非破壊試験に関する主な用語及びその定義について規定した規格である。JIS Z 2316-1:2014 は、製品及び材料に渦電流試験を適用する場合に、再現性よく実施するための、一般的な原則について規定した規格である。正答は(a)である。

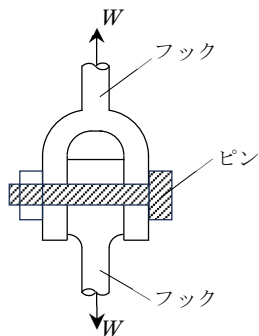
ST レベル 2 一般・専門試験のポイント

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.72, No.8, 2023) 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 下図のようなフックによる接続部分のピンの横断面に平行に作用する荷重 W を、その断面積の合計で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) 引張応力 (b) 圧縮応力
- (c) せん断応力 (d) 曲げ応力



正答 (c)

荷重 W を大きくすると、ピンは図 1 の左のように破断することになる。したがって、図の中央に示したようにピンにはせん断力が発生するため、図の右に示したようにピンの断面にはせん断応力 τ が発生する。せん断応力は、このように力の作用面に沿って生じる応力のことである。したがって、正答は (c) となる。

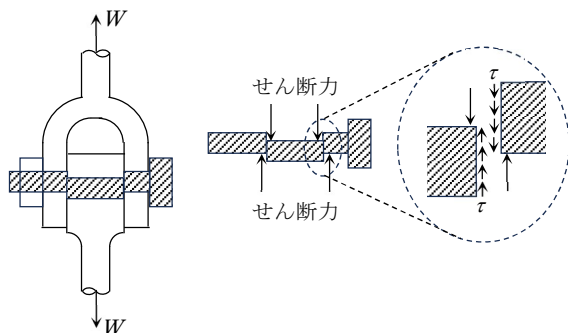


図 1 ピンに生じるせん断応力

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。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)

丸棒のねじり試験を実施すると、せん断応力 τ とせん断ひずみ γ には、せん断応力が小さい範囲において次式で表される比例関係が成立する。

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

ここで、比例定数 G を横弾性係数またはせん断弾性係数という。したがって、正答は (b) である。なお、(a) の弾性限度は、外力を取り除いたときに物体が元の形状に戻る応力の上限值である。(c) のヤング率は、引張試験における垂直応力 σ と垂直ひずみ ϵ の間に成立するフックの法則における比例定数であり、縦弾性係数とも呼ばれる。この比例定数を E とすれば、フックの法則は次式で表される。

$$\sigma = E\epsilon \tag{2}$$

また (d) の比例限度は、応力とひずみが比例関係にある範囲における応力の上限值である。

問 3 平面応力状態において、直角座標系 x, y の垂直応力 σ_x が 15.75 MPa、 σ_y が -4.25 MPa、せん断応力 τ_{xy} が 17.32 MPa であるとき、 $\tan 2\theta = 2\tau_{xy} / (\sigma_x - \sigma_y)$ で与えられる主応力方向 θ ($^\circ$) は、いくらになるか。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°	1.7320

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

正答 (c)

与えられた応力成分 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ を用いて計算すると、次式のようなになる。

$$\tan 2\theta = \frac{2 \times 17.32}{15.75 + 4.25} = 1.732 \quad (3)$$

したがって、与えられた表から、 $2\theta = 60^\circ$ となるので、 $\theta = 30^\circ$ となり、正答は(c)である。このような組合せ応力状態における主応力の大きさや主応力の方向を求める問題は、モールの応力円と併せてよく出題されるので、理解しておくことが重要である。

専門試験の類題

問4 デジタル静ひずみ測定器のA/D変換器の使用目的について、次のうちから、正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 入力波の増幅
- (b) 入力電圧の数値信号への変換
- (c) 出力波形の高周波ノイズの除去
- (d) 入力電圧の直流電圧信号への変換

正答 (b)

図2に静ひずみ測定器の基本的な構成を示す。A/D変換器(回路)は、コンピュータでデータ処理するために、重要な構成要素であり、増幅回路で電圧増幅されたアナログの入力信号をデジタル表示、印字などのためにデジタル信号に変換する回路である。したがって、正答は(b)となり、(a)、(c)、(d)は誤りである。

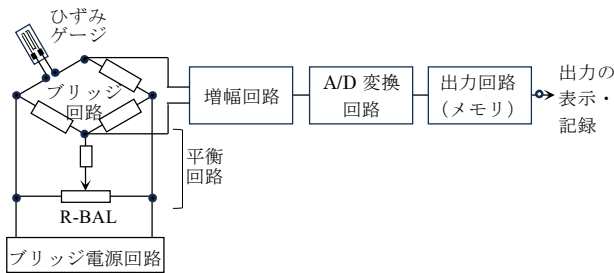


図2 静ひずみ測定器の基本的な構成

問5 長いリード線による3線結線法のひずみ測定では、ひずみの測定値 ϵ_i 、使用しているひずみゲージの抵抗 R と下の補正式により真のひずみ ϵ を求めるが、この式の r は何を示す値か。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

$$\epsilon = \left(1 + \frac{r}{R}\right) \epsilon_i$$

- (a) リード線の絶縁抵抗
- (b) リード線の往復抵抗
- (c) リード線接続部の抵抗
- (d) リード線1本の抵抗

正答 (d)

図3、4に1ゲージ法と1ゲージ3線式結線法を示す。ここで、リード線の1本の抵抗値を r とする。1ゲージ法の場合、リード線抵抗は往復2本分とも、ひずみゲージと直列にブリッジ回路内に入る。したがって、ひずみによる抵抗変化率は次式で表される。

$$(K\epsilon_i) = \frac{\Delta R}{R+2r} = \frac{R}{R+2r} \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{1+2r/R} K\epsilon \quad (4)$$

したがって、真のひずみ ϵ は次式で表される。

$$\epsilon = \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \epsilon_i \quad (5)$$

また、1ゲージ3線式結線法では、リード抵抗に影響するリード線抵抗値はリード線1本になるので、式(5)は次のように表される。

$$\epsilon = \left(1 + \frac{r}{R}\right) \epsilon_i \quad (6)$$

したがって、 r はリード線1本の抵抗であり、正答は(d)である。

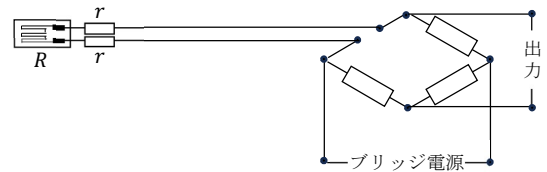


図3 1ゲージ法

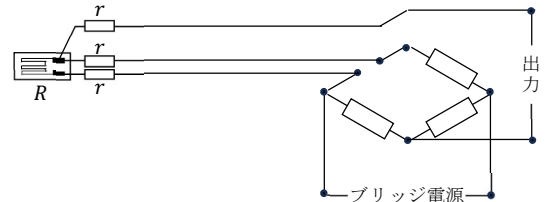


図4 1ゲージ3線式結線法

問6 ダイアフラム形はくひずみゲージが主に用いられている変換器を、次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 加速度変換器
- (b) 多分力荷重変換器
- (c) 圧力変換器
- (d) 薄肉円筒形荷重変換器

正答 (c)

圧力変換器は、ダイアフラムという圧力を直接受ける受圧膜をもっているため、正答は(c)である。(a)の加速度変換器は、おもりとひずみゲージを接着したばねを組合わせて単一振動系を構成した変換器で、おもりに加わった加速度はばねを変形させ、ばねに接着したひずみゲージにより加わった加速度をひずみに変換する。