

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 次は、無限長ソレノイドコイルの内部の磁界 H (A/m) を表す式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。ただしソレノイドコイルの軸方向の単位長さ当たりの巻数を n (回/m)、電流を I (A) とする。

- (a) $H = 2\pi nI$
- (b) $H = nI$
- (c) $H = n/\pi I$
- (d) $H = nI/(2\pi)$

正答 (b)

円形コイルや無限長ソレノイドコイルの電流が作るコイル内部の磁界を求める式は、プローブを選択するのに重要な指針の一つとなる。基本的なコイル形状の励磁電流 I が作る磁界 H を求める式を以下に示す。巻数は N 、単位長さ当たりの巻数は n (回/m) とする。

無限長直線電流から距離 a (m) 離れた点の磁界

$$H = I/(2\pi a) \tag{1-1}$$

半径 r (m) の円形コイルの中心の磁界

$$H = NI/(2r) \tag{1-2}$$

半径 r (m) の無限長ソレノイドコイルの内部の磁界

$$H = nI \tag{1-3}$$

したがって、正答は (b) となる。

問 2 次は、導電率 σ (S/m) の導体に電界 E (V/m) を与えたときの電流密度 J (A/m²) を表す式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) $J = E/(2\pi\sigma)$
- (b) $J = \sigma E$
- (c) $J = E/\sigma$
- (d) $J = 2\pi\sigma E$

正答 (b)

オームの法則は電流 I (A)、電圧 V (V)、抵抗 R (Ω) を用いて以下の式で表される。

$$I = V/R \tag{2-1}$$

長さ L (m)、断面形状 S (m²) が一定の導電率 σ (S/m) の導体の抵抗は、以下の式で表される。

$$R = L/(\sigma S) \tag{2-2}$$

ここで電圧の定義は一様な電界 E (V/m) の中で 1 C の電荷を 1 m 動かす仕事量であり、以下の式で表される。

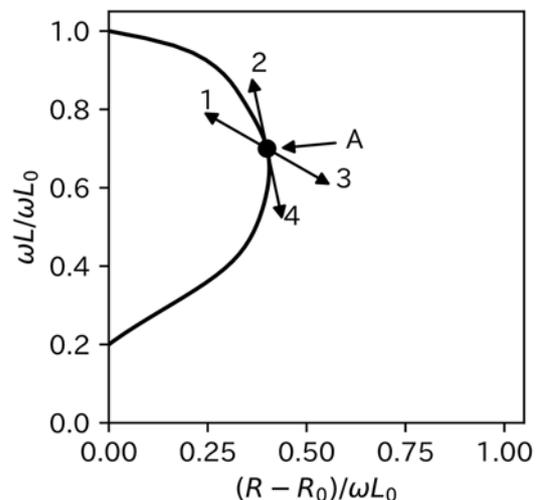
$$V = \int_0^L E \, dx \tag{2-3}$$

式 (2-2) 及び式 (2-3) を式 (2-1) に代入し長さで微分すると以下の式で表される。

$$J = \sigma E \tag{2-4}$$

ここで J (A/m²) は電流密度である。したがって、正答は (b) となる。これらの基本的な式については覚えておくことが重要である。

問 3 図は、貫通プローブに非磁性金属棒を挿入したときの、コイルの正規化インピーダンス曲線を示す。次は、棒の外径が小さくなった場合にインピーダンスが A 点から変化する方向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) 1
- (b) 2
- (c) 3
- (d) 4

正答 (a)

正規化インピーダンス平面は、コイルのインピーダンスの抵抗成分 $R - R_0$ とリアクタンス成分 ωL を、コイル内部に棒が存在しないときのリアクタンス ωL_0 で正規化して表したものである。棒の外径が小さくなった場合、発

生ずる渦電流は減るので横軸は小さくなる。インダクタンス L とコイルを鎖交する磁束 ϕ 、コイルの励磁電流 I の関係は以下の式で表される。

$$L = \phi / I \quad (3-1)$$

棒の外径が小さくなると渦電流が減るため、コイル内の磁束が増大し L が L_0 に近づく。すなわち座標点(0,1)の方向に変化する。したがって、正答は (a) となる。

専門試験の類題

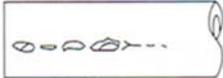
問4 次の、銅及び銅合金管の製造工程で発生するきずのうち貫通プローブで検出可能で有害度が比較的小さいきずについて示したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 巻き込み
- (b) へげきず
- (c) 押し込み
- (d) ビビリ

正答 (d)

管において最も有害度が高いきずは深いきずである。表4-1は管の製造工程で発生するきずの例を示している。形状から、「ビビリ(抽伸時に生じる引張方向の振動によって発生する円周状の浅いきず)」が最も浅く凹凸が小さいことから有害度は低いと言える。したがって、正答は (d) となる。

表 4-1 銅、銅合金の製造工程で発生するきずの例

きず名称	形状	
巻き込み		
へげきず		
押し込み		
ビビリ		

問5 次の文は、内挿プローブに用いられている二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) きず信号が二つの周波数で同一となるように位相と振幅を調整し、加算処理をする。
- (b) 支持板信号が二つの周波数で同一となるように位相と振幅を調整し、加算処理をする。
- (c) きず信号が二つの周波数で同一となるように位相と振幅を調整し、減算処理をする。
- (d) 支持板信号が二つの周波数で同一となるように位相と振幅を調整し、減算処理をする。

正答 (d)

二重周波数渦電流探傷試験法とは、二つの励磁周波数を同時に用いる手法である。図5-1はそのブロック図と適用例を示している。「 f_{main} の信号」及び「 f_{sub} の信号」に示すように、信号の発生原因(きず、及び支持板)によって信号の位相や振幅は異なる。励磁周波数 f_{sub} の指示板信号を f_{main} の支持板信号と同一になるよう位相と振幅を調整し、 f_{main} の検出信号から減算処理することで f_{main} の検出信号から支持板信号を軽減することができる。したがって、正答は (d) となる。

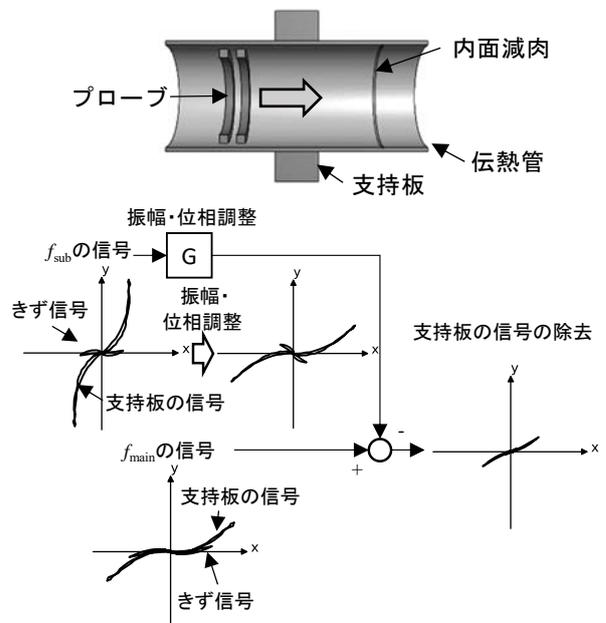


図 5-1 二重周波数渦電流探傷試験法のブロック図

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 4）と専門問題（問 5 と問 6）に分けて、特に正答率の低い問題の類題についてキーポイントを解説する。なお、ST レベル 2 の問題の類題のキーポイントについては、前回の 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 帯板材料（ポアソン比 0.28）の引張試験で、引張方向に 700×10^{-6} のひずみが測定された。このときの引張方向と直交する方向のひずみは、いくらになるか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) -280×10^{-6} (b) -196×10^{-6}
- (c) 196×10^{-6} (d) 280×10^{-6}

正答 (b)

ポアソン比の定義式は、前回の ST レベル 1 の類題でも解説した。しかしポアソン比の理解がまだ十分でないようなので、ST レベル 2 でもその応用問題として、この問題を取り上げる。ポアソン比の定義式は

$$\nu = -\frac{e'}{\epsilon} \tag{1}$$

ここで、 ϵ は軸ひずみ（引張では+、圧縮では-）、 e' は軸方向と直交する方向のひずみを表す。帯板の引張方向と直交する方向のひずみは、式(1)から

$$\epsilon' = -\nu \epsilon = -0.28 \times 700 \times 10^{-6} = -196 \times 10^{-6} \tag{2}$$

となる。したがって、正答は (b) となる。式 (1) で右辺の負号を落とすと、(c) を選択してしまうので、負号 (-) には特に注意が必要である。

問 2 材料特性である比例限度の単位として正しいものはどれか。次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) N/m^2 (b) mm/mm
- (c) N/mm (d) mm/N

正答 (a)

この問題では、材料特性の一つである比例限度の単位を問うているが、その物理的意味も理解しておく必要がある。降伏現象を示さない代表的な金属材料の引張応力

—ひずみ曲線の一例を、図 1 に示す。この曲線上の初期の直線上の点 A（応力 σ がひずみ ϵ に比例する限界点）の応力を、比例限度（または比例限）とよぶ。その値は、縦軸の応力単位(= N/m^2)をもつ。したがって、正答は (a) となる。この引張応力—ひずみ曲線上の点 B～点 E の引張特性の名称を問う問題が、ST レベル 1 に出題されているので、単位と合わせて復習してほしい。

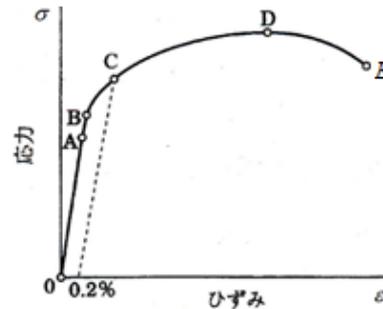


図 1 金属材料の引張応力—ひずみ曲線の一例

問 3 通常のひずみゲージによる常温での測定可能な最大ひずみは、およそどれくらいか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 約 0.3% (b) 約 1%
- (c) 約 5% (d) 約 7%

正答 (c)

ひずみゲージにより試験体のひずみを測定する際には、測定可能なひずみの限界を把握しておくことが、重要である。一般的な箔ひずみゲージでは、箔材料（抵抗材料）の伸びの限界、ゲージベース材料、接着剤の接着強度などに依存し、測定可能な最大ひずみは約 5% である。したがって、正答は (c) となる。5% 以上の大きなひずみを測定するためには、特別な大ひずみゲージを使用する必要がある。

問 4 下図に交流電源の電圧波形の一例を示す。この波形は、次のようなグラフで表されるとする。

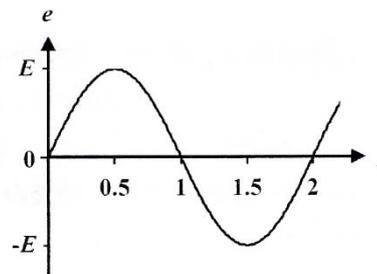


図 2 交流電源の電圧波形 $e(t)$

ここで、 e は電圧 (V)、 E は電圧振幅 (V)、 ω は角周波数 (rad/s)、 t は時間 (s) である。このときの角周波数 ω の値はいくらか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) $\pi/10$ (b) $\pi/2$
- (c) π (d) 2π

正答 (c)

これは単に交流電圧に関する基礎問題であるが、動ひずみ測定では記録したひずみ波形から周期や角周波数を特定する必要がある。そのため、記録した正弦波形から角周波数 ω を決定する手順が、ST レベル 2 の基礎知識として要求されている。図 2 の交流電圧波形の横軸から周期 T (1 回の繰り返しに要する時間) を求めると

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2 \text{ (s)} \tag{3}$$

から、 $\omega = \pi$ (rad/s) となる。したがって、正答は (c) となる。角周波数 ω が決まれば、同時に周波数 $f = 1/T = \omega/2\pi = 1/2$ (Hz) も決まるので、周期の定義だけでなく、 $\omega = 2\pi f$ の関係も知っておくことが重要である。

専門試験の類題

問 5 ゲージ率 $K_g=1.98$ 、ゲージ抵抗 $R_g=120 \Omega$ のひずみゲージで、1 m 当たり 0.03Ω のリード線を 25 m 使用して、2 線式結線法により静ひずみ測定をした。使用したひずみ測定器のゲージ率は $K=2.00$ と設定されていて、 $\epsilon_i=1100 \times 10^{-6}$ の指示ひずみが測定された。このときの真のひずみはいくらか。次のうちから最も近い値を一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 1111×10^{-6} (b) 1125×10^{-6}
- (c) 1156×10^{-6} (d) 1186×10^{-6}

正答 (b)

ひずみゲージ試験において、リード線が長くてその抵抗値がゲージ抵抗値と比較して無視できないときには、ひずみ測定器の指示ひずみ ϵ_i を、次式により補正する必要がある。すなわち

$$\epsilon = \left(1 + \frac{2r}{R_g}\right) \epsilon_i \tag{4}$$

ここで、 ϵ は補正ひずみを表し、 $2r$ はリード線の往復抵抗を表す。往復抵抗は、以下のように計算される。

$$2r = 2 \times 0.03 \times 25 = 1.5 \text{ W} \tag{5}$$

式 (4) に式 (5) の値と題意の $R_g=120 \text{ W}$ を代入すると、

補正ひずみは次のように求まる。

$$\epsilon = \left(1 + \frac{2r}{R_g}\right) \epsilon_i = \left(1 + \frac{1.5}{120}\right) 1100 \mu = 1113.75 \times 10^{-6} \tag{6}$$

また、ひずみ測定器で設定したゲージ率 $K=2.00$ は、使用したひずみゲージのゲージ率 $K_g=1.98$ と異なるため、式(6)の補正ひずみ ϵ について、さらにゲージ率の補正を行う必要がある。真のひずみ ϵ_t は、次式により

$$\epsilon_t = \frac{2.00}{K_g} \epsilon = \frac{2.00}{1.98} 1113.75 \mu = 1125 \times 10^{-6} \tag{7}$$

となる。したがって、正答は (b) となる。リード線の抵抗値による指示ひずみの補正と、ゲージ率による補正の順序は、求める真のひずみ値には影響しない。

問 6 ひずみゲージ試験において、試験体に荷重が作用しない状態で、ひずみ測定器の指示ひずみの零点が、時間とともにドリフト (緩やかな一定方向への移動) した。次のうちから最も関係ある記述を一つ選び、記号で答えよ。

- (a) ひずみゲージの接着後に、その表面を消しゴムの先端で軽く押したところ、ひずみ測定器の指示ひずみが 10×10^{-6} ($=10 \mu \epsilon$) 程度移動した。
- (b) ひずみゲージをブリッジ回路に 2 線式結線法で接続し、リード線を 100 m 以上延長した。
- (c) ひずみゲージ接着後に、その絶縁抵抗を測定すると、抵抗値が 500 MW 以上あった。
- (d) ひずみゲージをデジタルひずみ測定器のブリッジ回路に、3 線式結線法で接続した。

正答 (b)

ひずみゲージ試験において、負荷前のひずみ測定器の初期不平衡の調整完了後での指示ひずみの零点ドリフトの主な原因は、環境温度の影響による。(a) は、接着不良による一時的な指示ひずみの移動であり、零点ドリフトではない。(c) は、ひずみゲージの接着後の絶縁抵抗の測定値が正しいことを示唆しており、指示ひずみの零点ドリフトとは無関係である。(d) は、ブリッジ回路に 3 線式結線法で接続すると、リード線の環境温度の影響が消去できて、指示ひずみの零点ドリフトは生じない。一方、(b) は、ブリッジ回路に 2 線式結線法で接続する際に、リード線を 100 m 以上も延長すると、リード線が試験環境による温度変化を受けて、ゲージ抵抗変化率に熱ひずみ成分が重畳する。そのため指示ひずみの零点ドリフトが発生する。したがって、正答は (b) となる。

【73 巻 5 号掲載記事に関する訂正】2024 年 5 月に掲載した「ET レベル 3 パート D、E 試験のポイント」記事において問 3 の解説に誤りがありました。協会 HP の「NDT フラッシュコーナー」内の Vol. 73, No. 5 に訂正記事を掲載させていただきます。お詫びして訂正致します。