

E T レベル 2 一般・専門試験のポイント

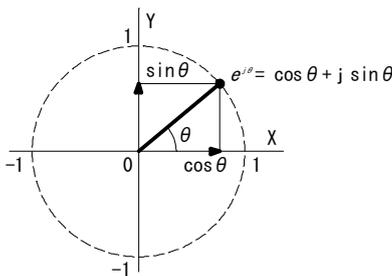
JIS Z 2305 : 2013 非破壊試験技術者の資格及び認証に基づく ET レベル 2 の新規一次試験は主に参考書である『渦電流探傷試験Ⅱ』から出題される。試験の結果を見ると受験者の理解不足や誤解によると思われる正答率の低い問題が見受けられる。本稿では、最近行われた試験のうち正答率の低かった問題に類似した例題により解答のポイントを解説する。

一般試験の類題

問 1 次は、交流信号の複素数表示に用いられるオイラーの公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。

- (a) $e^{j\theta} = \cos^2 \theta + \sin^2 \theta$ (b) $e^{j\theta} = \sin \theta + j \cos \theta$
- (c) $e^{j\theta} = \cos \theta + j \cos \theta$ (d) $e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$

正答 (d)



渦電流試験は交流信号を扱っており、信号処理として位相解析が行われている。交流信号は正弦関数で表され電圧を複素表示（フェーザ）で表現することができる。図は、交流信号を複素平面で表したものであり、横軸 X が実数であり縦軸 Y が虚数を示す。数学の複素解析におけるオイラーの公式は、複素指数関数と三角関数の間に成り立ち、交流信号は $e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$ で示され、正答は (d) である。

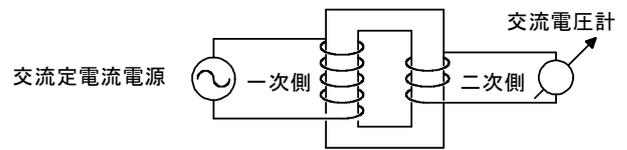
問 2 次は、長いソレノイドコイルの内部の磁界 H (A/m) を表す式を示したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。ただし、ソレノイドコイルの軸方向の単位長さ当たりの巻数を n (回/m)、電流を I (A) とする。

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

正答 (b)

銅線を筒状に巻いたコイルをソレノイドコイルという。コイルの内部磁界 H は電流と巻数に比例する。コイルが長ければ磁界は一様となり $H = nI$ で示される。正答は (b) である。

問 3 図は 2 個のコイルが結合し、一次側に交流定電流電源、二次側に交流電圧計が接続されている状態を示している。電源の周波数を 2 倍にしたらどのような現象になるかを表したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。ただし 2 個のコイルの結合は十分に密であるとする。



- (a) 電圧は 1/2 になる。 (b) 電圧は変わらない。
- (c) 電圧は 2 倍になる。 (d) 電圧は 4 倍になる。

正答 (c)

この問題は数年前に解説しており、再度、出題されたが正答率が非常に低く再度解説する。電磁誘導に関するファラデーの法則では、電磁誘導によって生ずる起電力の大きさは、コイルを貫く磁束の変化する割合と、コイルの巻数との積に比例する。いま、コイル内の磁束を ϕ 、巻数を N 、時間を t とすると、コイルの起電力 v は式(1)で示される。

$$v = -N \frac{d\phi}{dt} \tag{1}$$

式中で、2 個のコイルの結合度とコイルの巻数 N は変わらない。磁束 ϕ を発生させる一次側のコイルに流す交流電流は定電流のため周波数に関係なく一定であり、周波数を 2 倍にすると単位時間当たりの磁束変化 $d\phi/dt$ が 2 倍となり、正答は (c) となる。

問 4 次は、上置プローブに組み込まれているコイルを示したものである。このうち、リフトオフの信号が発生しにくいものはどれか。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 自己誘導形単一コイル
- (b) 相互誘導形単一コイル
- (c) 一様渦電流コイル
- (d) マルチコイル

正答 (c)

コイルと試験体間の距離によるリフトオフ信号は、励磁コイルの磁場と試験体に誘導される渦電流の作る磁場が検出コイルに直接的に鎖交しているしているために生じる現象であり、(a) 自己誘導形単一コイルと (b) 相互誘導形単一コイルは不正解である。マルチコイルは一般にパンケーキ型の単一コイルを複数個並べ有効検査幅を広くした構造となっており、上述の通り、リフトオフ信号が発生し、(d) も不正解である。一樣渦電流コイルは、検出コイルより十分大きな直方体のタンジェンシャル型の励磁コイルとパンケーキ型の検出コイルを組み合わせた構造となっている。励磁コイルの巻き幅が広いため、その巻線直下では同一方向で電流密度が一定の渦電流が発生している。検出コイルは、渦電流の作る磁場に鎖交しない向きに配置されているためリフトオフに対して雑音が発生しない。したがって、正答は (c) である。

専門試験の類題

問5 次は、厚肉鋼管の渦電流探傷試験後に適用すべき脱磁方法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) 交流脱磁
- (b) 一方向の電流による直流脱磁
- (c) 直流脱磁と交流脱磁の併用
- (d) 応力除去焼鈍

正答 (c)

鋼管の渦電流探傷試験には、貫通プローブ法が用いられており探傷に当たって、試験体の磁気ノイズ (μ ノイズ) を抑制する必要があるため脱磁を行う。探傷後、試験体に残留磁気が残るため脱磁をする必要がある。脱磁方法として一般に貫通型のコイルによる交流脱磁を行う。厚肉鋼管は、交流電源による表皮効果のため厚肉の内部は十分な脱磁ができないため、(a) は不正解である。一方向の電流による直流脱磁は、試験体の残留磁束密度に合わせ磁界の強さを調整する必要があり、(b) は不正解である。また、熱処理は脱磁の有効な手段ではあるが、応力除去焼鈍は脱磁するには温度が低いため、(d) は不正解である。直流は表皮深さが深いため、厚肉鋼管の場合は、試験体の探傷の際の磁気飽和による直流磁場と逆方向の直流磁界による逆磁場を与え転極しながら磁気を減衰させ、その残留磁気を交流磁界で脱磁する方法が用いられ、正答は (c) である。

問6 次の文は、内挿プローブによる渦電流探傷試験に用いられている多重周波数法の周波数設定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) 支持板信号を抑制する場合は、検査に適した周波数と、一般にはその周波数より 1/10 ~ 1/100 程度の低い周波数の二周波が用いられる。
- (b) 支持板信号の抑制は、検査に適した周波数より低い周波数を用いるが、表皮深さが深いことから、支持板信号が強く含まれることを利用している。
- (c) 多重周波数法はプローブによるガタ雑音を抑制するためにも使用される。この場合、腐食検査に適した周波数より低い周波数が用いられる。
- (d) 試験後に各周波数により得られた信号を相互に演算すればよいため、試験周波数は考慮する必要が無い。

正答 (b)

渦電流探傷試験を行うとき、試験体の材質や肉厚を基に渦電流の表皮深さや特性試験周波数を考慮して適正な試験周波数が決定され、(d) は不正解である。多重周波数法は二つ以上の試験周波数が用いられる。二つの周波数のうち、主となる試験周波数は適正周波数である。副となる周波数は、渦電流の表皮深さを考慮し、試験体の外表面に起因する支持板信号を抑制する場合は、主の周波数に対し 1/2~1/4 に設定する。主と副の周波数比を大きく設定すると抑制する信号波形の類似性が得られないので、(a) は不正解である。また、試験体の内表面に起因するガタ雑音を抑制する場合は、周波数比は 2~4 倍が用いられ、(c) は不正解である。したがって、正答は (b) である。

お知らせ

渦電流探傷試験の二次(実技)試験のうち、貫通プローブを用いた試験では記録計によるデータ採取が行われている。2023年度の春期試験より使用している記録計をACTUNI(株)製のRPS-102型に更新する予定である。機能的には従来使用してきた記録計と変わらない。機器の操作方法は、メーカーの操作資料(*)を参照してほしい。

日本非破壊検査協会のホームページにも抜粋版などを掲載し、技術講習会などで説明を行う。試験会場において掲示する予定である。

(*) <https://actuni.co.jp/ndi/learning/rps102.html>

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キーポイントを解説する。なお、ST レベル 2 の類似問題のキーポイントについては、直近の NDT フラッシュ（Vol.70 No.1）に前回の解説があるので参考にされたい。

一般試験の類題

問 1 モールの応力円を描く場合に縦軸にとる変数は何か。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 主方向
- (b) 垂直応力
- (c) せん断応力
- (d) 平均応力

正答 (c)

モールの応力円は物体が 2 次元または 3 次元応力状態にあるとき、主応力とその方向を求めるための図式解法である。モールの応力円では、通常は図 1 右に示すように横軸に垂直応力 σ を、縦軸にせん断応力 τ （下向きを正）を座標として描く。したがって、(a)、(b)、(d) は間違いで、正答は (c) となる。この図では、共役せん断応力の符号は反時計回りに作用する方向を正としている。モールの応力円と交差する横軸の点 A が最大主応力 σ_1 、点 B が最小主応力 σ_2 に対応する。またモールの応力円の直径 PQ と横軸とのなす角度 2ϕ （反時計回り方向）の $1/2$ が、横軸と最大主応力 σ_1 の作用面の法線方向とのなす角度を示すことも学習しておいて欲しい。

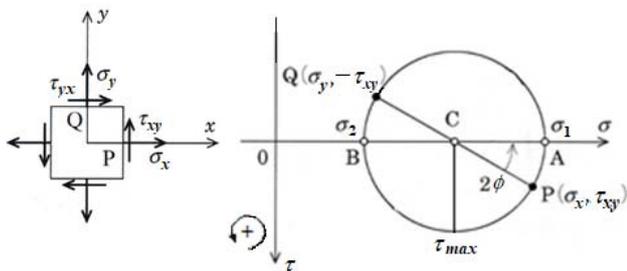


図 1 2次元応力状態とモールの応力円による表示

問 2 ねじり荷重を受ける車軸の横断面に生じるせん断応力の分布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) 車軸の中心線上でせん断応力はゼロである。

- (b) せん断応力は車軸の断面全体に一樣に分布する。
- (c) せん断応力がゼロになるのは車軸の表面である。
- (d) 車軸の中心線上でせん断応力が最大になる。

正答 (a)

これはねじり荷重を受ける車軸の横断面に生じるせん断応力の分布に関する問題である。以下に示す図 2 から明らかなように、ねじりモーメントを受ける丸棒（車軸）の横断面に作用するせん断応力 τ は、弾性変形内では中心線（中心 O を貫通する線）から半径方向に沿って直線的に分布し、中心ではゼロで表面で最大となる。したがって、正答は (a) となる。

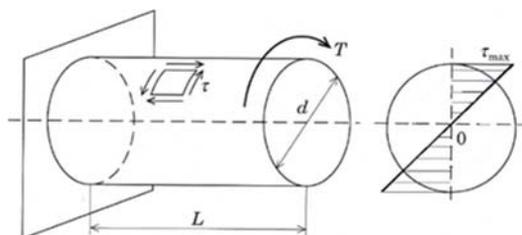


図 2 ねじりモーメント T を受ける丸棒（直径 d 、長さ L ）の横断面に作用するせん断応力の分布

問 3 直径 d の丸棒を安全に負荷できる引張荷重は、 P_s であった。この丸棒と同じ材料で直径を $d/2$ にしたとき、丸棒に安全に負荷できる引張荷重はいくらになるか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) $P_s/2$
- (b) $P_s/4$
- (c) $P_s/6$
- (d) $P_s/8$

正答 (b)

本問は、許容応力 σ_a （＝基準強度/安全率）が既知の丸棒の安全荷重値に関する問題である。一般に丸棒に安全に負荷できる引張荷重 P_s は、許容応力 σ_a と断面積 $\pi(d/2)^2$ により次のように書ける。

$$P_s = \sigma_a \frac{\pi d^2}{4} \tag{1}$$

いま、丸棒の直径を半分の $d/2$ にすると、安全に負荷できる引張荷重 P'_s は、式 (1) から

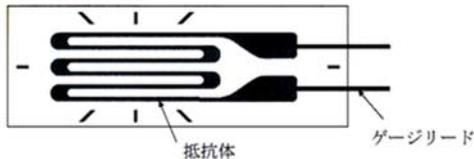
$$P'_s = \sigma_a \frac{\pi (d/2)^2}{4} = \frac{1}{4} \sigma_a \frac{\pi d^2}{4} = \frac{1}{4} P_s \tag{2}$$

となる。したがって、正答は (b) となる。

専門試験の類題

問 4 下図はひずみゲージの構造を示している。次の記述のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 抵抗体の折り返しタブ部は、測定（長手）方向のひずみ感度を大きくするために付けられている。
- (b) ゲージリードは軽くする必要があるので、抵抗体よりも細い導電性金属を使用する。
- (c) 試験体のひずみは、接着剤とゲージベースを経て抵抗体に伝達される。
- (d) 抵抗体の部分は、ゲージベースと呼ばれる。



正答 (c)

上の問題図に記載のないひずみゲージの構造と各部の名称を図3に示す。抵抗体の折り返しタブ部は測定（長手）方向と垂直であり、幅方向のひずみによる影響を少なくするため、太く短くすることで抵抗変化を小さくしているため、(a)は間違い。ゲージリードは抵抗値を下げるために太い導電性金属を使用するので、(b)も間違い。抵抗体はゲージベースとは同一ではないので、(d)も間違い。下図に示すように、試験体のひずみは接着剤とゲージベースを通じて、抵抗体に伝達される。したがって、正答は(c)となる。

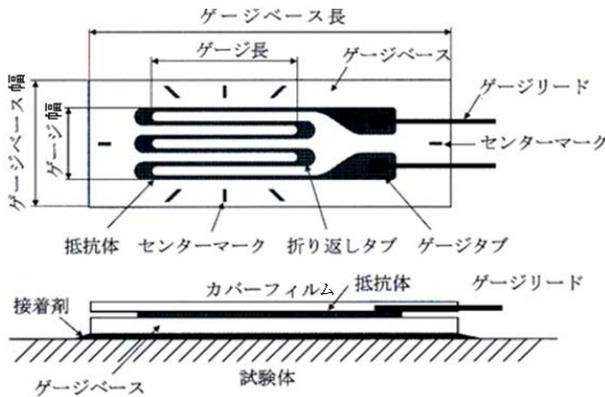


図3 ひずみゲージの構造の詳細（下図は断面模式図）

問5 ひずみゲージ試験において、3線式結線法が適用される場合として、次の記述から正しいもの一つを選び、記号で答えよ。

- (a) 異なったゲージ率のひずみゲージを使う場合
- (b) リード線間の容量変化がある場合
- (c) 試験体の温度変化がかなり大きい場合
- (d) 温度変化によりリード線の抵抗が変化する場合

正答 (d)

ひずみゲージ試験における1ゲージ3線式結線法のブリッジ回路例を図4に示す。リード線が長くて温度変化が大きい場合には、あたかもひずみゲージの抵抗が変化したようになり、見掛けのひずみとなって現れる。3線式結線法は、このようなリード線の温度影響を除くための結線法である。したがって、正答は(d)となる。(a) ひずみゲージの異なるゲージ率は、3線式結線法では補正されない、(b) リード線の浮遊容量の違いによる平衡不能は3線式結線法では補正されない、(c) 温度変化により発生するひずみゲージの熱出力は3線式結線法では補償されないため、いずれも間違いである。

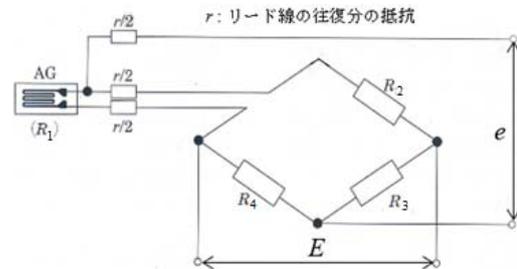


図4 1ゲージ3線式結線法のブリッジ回路例

問6 ひずみゲージが接着された片持ちはり形状の板ばねと重錘を組み合わせた1自由度振動系からなる変換器で、ひずみ量に変換されて直接検出される物理量は何か。次のうちから正しいもの一つを選び、記号で答えよ。

- (a) 加速度 (b) 回転力 (c) 周波数 (d) 動圧力

正答 (a)

ひずみゲージを使用した変換器には、いろいろな種類（例えば、圧力変換器、変位変換器など）がある。問題文から図5のような構造の変換器を図式化することができるので、正答は(a)加速度となる。問題文から片持ちはり形状の荷重変換器も考えられるが、振動系と記載があるので、(b)、(d)は間違いとなる。ひずみゲージを使用した加速度変換器では、さらに周波数分析を実施しないと、(c)周波数の測定には使用できない。

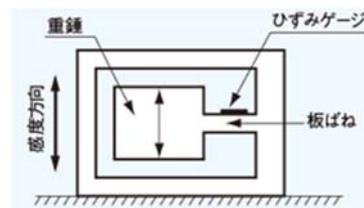


図5 ひずみゲージ式加速度計の基本構造