

ET レベル 2 一般・専門試験のポイント

JIS Z 2305:2001 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『渦流探傷試験 II』の記述範囲内から出題される。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ポイントを解説する。

問 1 正規化インピーダンス軌跡に関連して、特性周波数 f_c というパラメータがある。次に示す語句は、このパラメータに含まれる因子について示したものである。誤っているものを一つ選び記号で答えよ。

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

正答 (c)

特性周波数 f_c については、『渦流探傷試験 II』p.45 を参照するとよい。参考書の図 4.19 は非磁性円筒導体を含む無限長ソレノイドコイルの正規化インピーダンス図である。図中に示される f_c は特性周波数と呼ばれるパラメータであり、次式で示される。

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

ここで、 σ は試験体の導電率、 b は試験体の半径、 μ は透磁率である。したがって、(a)、(b)、(d) は式(1)右辺に含まれており不正解である。試験周波数は含まれておらず正答は (c) となる。

問 2 下の図は、コイルの一方に交流定電流電源、もう一方に交流電圧計が接続されている状態を示している。次の文は、電源の周波数を 2 倍にしたときの交流電圧計の指示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。

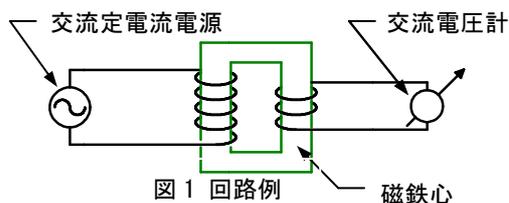


図 1 回路例

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

正答 (c)

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 は次式で示される。

$$v = -N \frac{d\phi}{dt} \dots (2)$$

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、周波数を 2 倍にすると $\frac{d\phi}{dt}$ は 1/2 となり、正答は (c) となる。

問 3 次の文は、渦電流の表皮深さ δ における位相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) -90°
- (b) -57.3°
- (c) 30°
- (d) 90°

正答 (b)

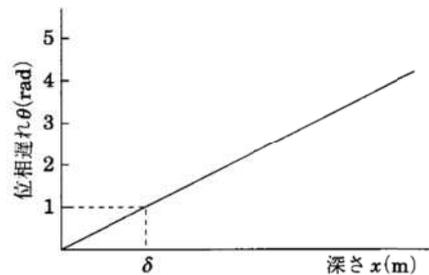


図 2 深さによる渦電流の位相の変化

導体表面における渦電流に対する導体内の渦電流の位相 θ は、次式で表され深さ x に比例する。

$$\theta = -x\sqrt{\pi f \mu \sigma} = -x/\delta \dots (3)$$

図 2 は導体内部の深さに対する渦電流の位相遅れを示したものであり、表皮深さ δ における遅れ位相は 1 rad となる。rad(ラジアン)は国際単位系(SI)における角度の単位である。1 回転は 360° であり、 2π rad に相当する。したがって、1 rad は $360/2\pi=57.3^\circ$ となり、正答は (b) となる。

問 4 次の文は、 θ プローブについて記したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 自己誘導形の試験コイルである。
- (b) 渦電流は検出コイルの直線的な巻線に平行して流れている。
- (c) 連続したきずの直上に、平行に検出コイルを置くと、渦電流が乱れて起電力が生じる。
- (d) 通常のコイルと比べ、リフトオフ雑音が発生しにくい。

正答 (d)

θ プローブについては、現在の『渦流探傷試験Ⅱ』に記載されておらず、『渦流探傷試験Ⅰ』p.42を参照するとよい。 θ プローブは円形の上置コイルを励磁コイルとして用い、その中にタンジェンシャルコイルを配置して検出コイルとするものであり、励磁と検出コイルが分離した相互誘導形となっており、(a)は不正解である。このコイルでは、渦電流は同心円状に誘導され、その直径方向にタンジェンシャルコイルが配置されている。渦電流は検出コイルの直線的な巻線に直交して流れるために、(b)は不正解である。

検出コイルに対して渦電流の流れが対称であれば起電力が生じないため、連続したきずの直上に、平行に検出コイルが置かれた場合などでも起電力が生じず、(c)は不正解である。同様にリフトオフ変化時も渦電流の流れは対称であり、起電力は発生しないからリフトオフ雑音は発生しにくい。正答は(d)となる。

問5 次の文は、内挿プローブと2重周波数を用いた渦電流探傷装置を使用し熱交換器の検査をする場合の励磁周波数の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) 伝熱管の内表面における凹凸等の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倍程度の周波数を使用する。
- (b) 支持板信号を消去する場合は、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。
- (c) 支持板信号を消去する場合は、基準の周波数と同一で、位相が180°異なる交流を用いる。
- (d) 支持板信号を消去する場合は、基準の周波数とそれよりも1/2~1/4倍程度の周波数を使用する。

正答 (d)

熱交換器の検査の場合に、不要となる支持板信号を消去し、きず信号のみを得る方法として、2重周波数による渦電流探傷法が用いられている。2重周波数を用いた渦電流探傷装置の励磁周波数の選定方法として、基準と

なる周波数は検査対象とする伝熱管単体に対し適正な周波数 f_1 を設定する。不要信号の補正として使われる周波数 f_2 の選定方法は、不要信号の原因に応じて異なる。例えば、伝熱管の内表面における凹凸等の雑音を消去する場合は、 f_1 に対して、 f_2 は2~4倍程度高い周波数を用いる。 f_2 の周波数を高く設定することにより、不要となる凹凸等の雑音が f_1 よりも強調され検出される。探傷器はこの f_2 の信号を処理し、 f_1 信号に対しベクトル減算を行い不要信号を消去する。したがって、(a)は不正解である。また、支持板信号のように伝熱管の外側に不要信号の原因がある場合は、 f_1 に対して、 f_2 は1/2~1/4倍程度低い周波数を用いており、(b)は不正解である。このように2重周波数を用いた渦電流探傷法は異なる2つの励磁周波数を用いており、(c)は不正解である。したがって、正答は(d)となる。

問6 次の文は、リモートフィールド渦電流探傷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) 非磁性体配管の保守検査法として開発された試験法である。
- (b) 管内部の励磁コイルから管径の約4倍程度離れた位置に検出コイルを置いて探傷する方法である。
- (c) 励磁周波数は数十~数百kHz程度である。
- (d) 従来の渦電流探傷法と比べて探傷速度を遅くする必要がある。

正答 (d)

リモートフィールド渦電流探傷法は、試験体を磁気飽和せず磁性体の配管の保守検査法として開発された試験法であり、(a)は不正解である。リモートフィールド渦電流探傷法は、管内部の励磁コイルから管外径の約2倍程度離れたリモートフィールド領域に検出コイルを配置して探傷する方法であり、(b)は不正解である。また、リモートフィールド渦電流探傷法に用いられる励磁周波数は数十~数百Hz程度であり、従来の渦電流探傷法と比べ励磁周波数が低い。その結果として、探傷速度を速く設定できず、(c)は不正解であり、正答は(d)となる。

NDTフラッシュで解説した問題と類似した問題は繰り返し出題されている傾向であるが、相変わらず正答率は低い。受験者は本稿に限らず近年の関連記事も一読することを奨めます。

SMレベル2 試験問題のポイント

ひずみ測定 (SM) レベル2 非破壊試験技術者資格試験に関する解説はこれまでも本欄に掲載されたが、この試験では筆記の一次試験と実技を中心とした二次試験が実施されている。このうちの一次試験はレベル2の技術者に必要な基礎知識についての一般試験と電気抵抗ひずみ測定法についての専門試験である。いずれの試験も四者択一形式の筆記試験である。また、二次試験は電気抵抗ひずみ測定法による実技試験及び指示書作成の筆記試験である。ここでは、SM レベル2 の新規受験者に対する一次試験の問題及び二次実技試験についてのポイントの解説をする。

一次一般試験

新規一次の一般試験はひずみ測定の基礎知識に関する問題が出題される。特に、ひずみ測定レベル2の技術者には、構造物あるいは部材に生じるひずみを測定するだけでなく、これによる安全性を評価する知識も要求される。一般に、稼働中の構造物の安全性は応力で評価されているが、複雑な形状の場合など、直接応力が求められないことが多い。このため、測定されたひずみから応力への換算、あるいは二次元の応力状態やせん断応力に関する知識も必要になる。

なお、これまでも一般試験の問題例についての解説をしてきたが、ここではまだ紹介されていない問題例をいくつか取上げ、解答に当たっての解説をする。

問1 平面応力状態で直交座標系 x, y における垂直応力を σ_x, σ_y 、せん断応力を τ_{xy} としたときの主応力方向 θ は次の式で与えられている。

$$\tan 2\theta = 2\tau_{xy} / (\sigma_x - \sigma_y)$$

σ_x が 31.50MPa、 σ_y が -8.50MPa、 τ_{xy} が 34.64MPa のときの主方向を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

なお、 $\tan 60^\circ$ は $\sqrt{3}$ である。

- (a) 15° (b) 30° (c) 45° (d) 60°

正答 (b)

ここでは、平面応力状態の二方向の垂直応力とせん断応力から主方向を算出する式が与えられているので、この式に各値を代入すると、

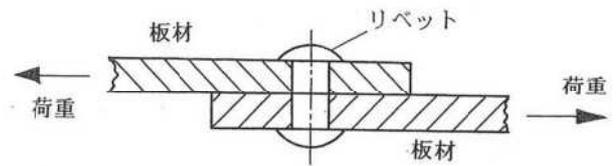
$$\tan 2\theta = (2 \times 34.64) / (31.50 + 8.50) = 1.732$$

さらに、 $\sqrt{3} = 1.732$ であるので、 $2\theta = 60^\circ$ になる。したが

って、主方向 θ は 30° になり (b) が正答になる。

なお、二方向の垂直応力とせん断応力が既知の場合の主応力や主方向の算出、あるいは三方向のひずみから主ひずみや主方向の算出は構造物の強度評価にとって重要であり、これらに関係した式は二次試験にも必要になるので知っておいてもらいたい。

問2 下図のように直径 12mm のリベットで結合された板に 4.8kN の荷重がかかっていた。このリベットにかかる応力を次のうちから選び、記号で答えよ。



- (a) 10.6MPa の引張応力
 (b) 21.3MPa の圧縮応力
 (c) 31.5MPa の曲げ応力
 (d) 42.5MPa のせん断応力

正答 (d)

図のような場合のリベット断面はせん断応力を受けている。ここで受けている荷重を P 、リベットの断面積を A とする。さらに、このときのせん断応力を τ とすると、垂直応力の場合と同様に、 $\tau = P/A$ で求められる。したがって、

$$\tau = 4.8 \times 10^3 / 6^2 \times 3.14 = 42.5 \text{ N/mm}^2 = 42.5 \text{ MPa} \text{ になり、}$$

(d) が正答になる。

実際の構造物にはリベットなどによる機械的な結合が多く用いられているので、せん断応力あるいはせん断ひずみに関することも知っておいてもらいたい。

一次専門試験

ひずみ測定の専門試験は、現在広い分野のひずみの測定で使用されている電気抵抗ひずみ測定法についての試験である。特にレベル2の技術者には、この方法の測定原理や実施に関する基礎知識とともに主要な応用分野である変換器 (トランスジューサ) に関する問題も出題される。なお、この基礎知識に関する問題はすでに例題による解説がされているので、それを参考にしてもらいたい。ここでは特に変換器の問題例を取り上げる。

問3 次の記述は半導体ひずみゲージを使った荷重変換

器（ロードセル）について述べたものである。このうちから正しい記述を一つ選び、記号で答えよ。

- (a) はくひずみゲージよりもゲージ率が大きいので、温度の影響を受けにくい変換器ができる。
- (b) 応答性は悪いが出力が大きいので、広範囲の荷重を測定する変換器ができる。
- (c) 出力が大きいので、増幅器を省略した簡単な装置の変換器にすることができる。
- (d) ゲージ率の正負のものができ、温度によって変化するので温度補償された変換器ができる。

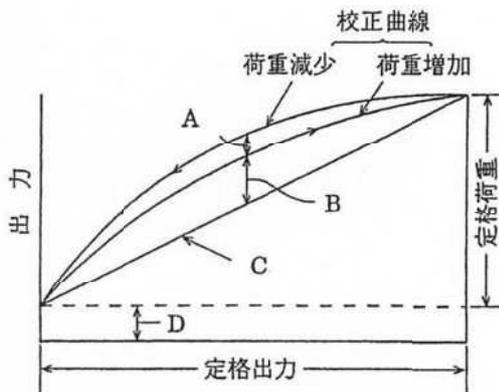
正答 (c)

ゲルマニウム、ケイ素などの半導体を抵抗体にしたひずみゲージも変換器に使われている。このひずみゲージには以下のような特徴がある。

1. ゲージ率は大きく温度に対しては敏感なので、より温度の影響を受け易くなる。
2. 応答性が非常に高く、小さなゲージにすることができるが、測定範囲は小さい。
3. ゲージ率は温度により変化する。さらに、このゲージ率が正のものも負のものもできる。

このような特徴から解答群の (a), (b) の記述は誤りになる。また、上述の 3. で示した特徴はあるが、この特徴は温度補償に利用できないので (d) の記述も誤りになる。一方、出力が大きく、このために増幅器を必要としない簡単な装置の変換器にすることができる。したがって、(c) の記述は正しく、これが正答になる。

問4 下の図は荷重変換器（ロードセル）の定格荷重に対する定格出力の関係を表した校正曲線である。この図のA, B, C, Dで示された箇所の説明で正しいものを一つ選び、記号で答えよ。



(a) A はヒステリシスを示している。

- (b) B は零点の移動を示している。
- (c) C は非直線性を示す線である。
- (d) D は温度変動を示す量である。

正答 (a)

荷重変換器を製作した場合、校正を行いその性能を示しておく必要がある。本問に示されている図は、この荷重変換器の定格荷重に対する定格出力を示す校正曲線の例である。この図のAで示されているのは荷重増加と荷重減少の行程で生じる差で、通常ヒステリシスと称されている。Bは零点移動ではなく、直線的な荷重と出力の関係に対して実際には多少曲線状になる現象が生じ、この場合の非直線性を示している。一方、Cは非直線性を示す線ではなく、直線的に変化する基準線である。さらに、Dは温度による変動ではなく、出力の初期不平衡を示す量である。したがって、(a)のみが正しく、これが正答になる。

二次試験

一次試験合格者に対して実施される二次試験は電気抵抗ひずみ測定法による静ひずみ及び動ひずみ測定の実技試験と作業指示書作成に関する試験である。表1は現在実施されている試験項目とこの時間配分を示してある。

表1 試験項目に対する時間配分

試験項目	時間配分
ひずみゲージの接着	10分
静ひずみの測定	20分
動ひずみの測定	20分
結果の報告書の作成	40分
作業指示書の作成	30分
合計	120分

紙面の関係でこの二次試験についての解説は割愛するが、試験の各項目の内容や解答についてはすでに機関誌第52巻11号(2003)の本欄で紹介されている。

したがって、これを参照してもらいたい、52巻11号で紹介されている時間配分はここで示されている表と多少違っているので、注意して頂きたい。