

E T 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ものとしているが、試験の結果を見てみ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 次の文は、回路素子に交流電圧を加えたときの電圧と電流の位相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) インダクタンスの場合、電圧は電流に対して 90 度遅れる。
- (b) インダクタンスの場合、電圧と電流は同位相である。
- (c) 抵抗の場合、電圧は電流に対して 90 度進む。
- (d) 抵抗の場合、電圧と電流は同位相である。

正答 (d)

回路素子としてインダクタンスの場合は、加えた電圧は電流に対して $\pi/2$ (rad), すなわち 90 度位相が進むことから、(a) と (b) は不正解である。抵抗の場合は、電圧と電流は同位相であり、(c) は不正解である。したがって、正答は (d) となる。

問 2 次の文は、渦電流の位相変化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) 渦電流は導体内部に浸透するにつれて徐々に位相が進む。
- (b) 表皮深さの位置で位相の遅れは 1rad となる。
- (c) 渦電流の位相変化の程度は、試験周波数に無関係である。
- (d) 渦電流の位相は次式で表わされる。 $\theta = \delta/x$
(x : 表面からの深さ, δ : 表皮深さ)

正答 (b)

表皮効果により渦電流は導体のコイルに接した外表面に集中し、導体内部に浸透すると減少する。また同時に渦電流の時間的な遅れを表す位相は、導体内部に浸透するほど大きくなることから、(a) は不正解である。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。

$$\theta = x\sqrt{\pi f \mu \sigma} = x/\delta \text{ (rad)} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

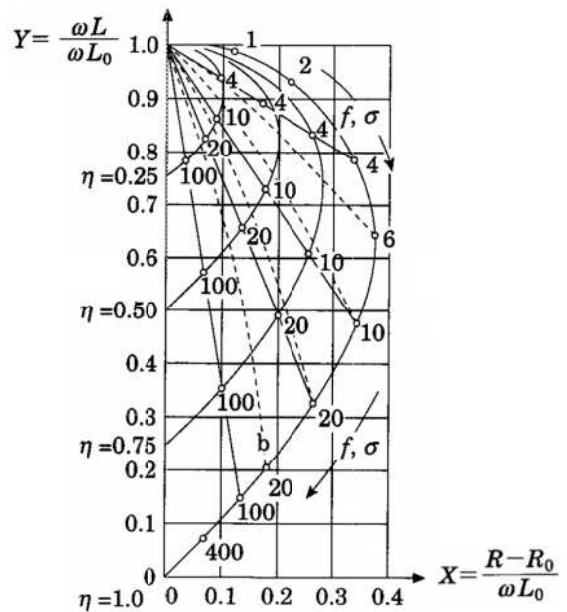
したがって、(d) は不正解である。

また、式より試験周波数 f が高くなるほど位相の遅れが大きくなることから、(c) は不正解である。表皮深さ δ における位相は 1 rad となる。したがって、正答は (b) となる。

問 3 次の文は、正規化インピーダンス曲線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) 非磁性体表面の割れにより、正規化リアクタンスは減少方向に変化する。
- (b) 充填率が小さくなるに従ってインピーダンスは (1, 0) の点に向かう。
- (c) 導体の導電率の変化に伴うインピーダンス変化は、インピーダンス軌跡に沿う。
- (d) 充填率が小さいほどインピーダンス変化は大きくなる。

正答 (c)



渦電流探傷試験において周波数の変化によるコイルのインピーダンス変化、結合度の変化、あるいは導体の導電率の変化など、様々な条件を統一的に扱えるようにしたのが正規化インピーダンス曲線である。図 1 は非磁性管の正規化インピーダンス曲線例を示したものである。図中で $\omega L/\omega L_0$ が 1.0 の点がコイル内に導体が存在しない

ときのインピーダンスに相当し、平面座標に置き換えれば $X=0$, $Y=1$ の点であり、(b) は不正解である。図中の η は充填率を示しており、充填率が大きくなるとインピーダンス変化は大きくなることから、(d) は不正解である。

導体表面に割れが存在すると見掛けの導電率 σ は減少し、正規化リアクタンス $\omega L/\omega L_0$ は増加方向となることから、(a) は不正解である。したがって、正答は (c) となる。

問 4 次の文は、コイルのインピーダンスに影響を与える因子とそれによる現象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) コイルに加える交流電流の周波数が高くなると、渦電流が増加する。
- (b) 試験体の導電率が高くなると、発生する渦電流による磁束が多くなるため、コイルの磁束が増加する。
- (c) 試験体の透磁率が高くなると、磁束が増加するためコイルのインピーダンスは減少する。
- (d) コイル内の磁束はコイルの巻数と形状によって決まり、コイルに挿入される試験体の形状には影響されない。

正答 (a)

コイルの磁界内に試験体を置くと、電磁誘導により試験体内に渦電流が誘導される。渦電流はコイルによる磁束の変化を妨げる向きに磁束を発生する。試験体の導電率が高くなると渦電流が増し渦電流による磁束は多くなり、コイル内の磁束は減少することから、(b) は不正解である。磁界の強さ H と磁束密度 B の間には、 $B=\mu H$ の関係がある。したがって、試験体の透磁率 μ が高くなると、試験体の磁束が増加しコイルのインピーダンスは増加するため、(c) は不正解である。コイル内の磁束はコイルによる磁束と渦電流による磁束との合成であり、試験体の形状が異なることにより充填率が変化し、コイル内の磁束に影響を受けることから、(d) は不正解である。

渦電流探傷試験において、コイルに印加する交流電流の周波数を高くすると、電磁誘導の法則により渦電流は増加する。したがって、正答は (a) となる。

問 5 次の文は、鋼管の渦電流探傷試験に使用される磁気飽和装置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) 強磁性体の試験体の残留磁気を取り除くためのもので、直流の電流を反転しながら小さくする。
- (b) コイルの巻数を少なくして大電流で励磁するものと、コイルの巻数を多くして小電流で励磁するものがある。
- (c) 直流で励磁するものと交流で励磁するものがあり交流で励磁するもののほうが効率がよい。
- (d) 交流で励磁する装置は表皮効果の影響により表面近傍しか磁気飽和できないため貫通コイルを使用した渦電流探傷装置しか適用できない。

正答 (b)

鋼管など磁性体を渦電流探傷する場合は、磁性の均一化をはかり、 μ ノイズ (透磁率の不均一に起因したノイズ) による影響を小さくするために、直流磁気飽和装置を用いる必要があることから、(c) 及び (d) は不正解である。また、(a) は磁性体の渦電流探傷試験後に試験体を脱磁する方法について記してあり、不正解である。試験体を磁気飽和するには強磁界を発生させる必要があり、磁化力 H は、励磁コイルの軸方向単位長さ当たりの巻数 n (回/m) と電流を I (A) との積 $H = nI$ で示される。したがって、正答は (b) となる。

ET レベル 2 の資格取得を目指す人は、参考書を何回も読み返し記載内容を正しく理解することを奨める。受験者の健闘を祈ります。

【掲載記事に関する訂正】

次の ET に関連する記事のうち、下線部に訂正がありました。お詫びして訂正致します。(2013 年 8 月)
 掲載号・記事名・訂正箇所・誤・正
 ① Vol. 55No. 8(2006)「ET レベル 2 一次専門試験問題のポイント」2 ページ右下から 6 行目
 誤 …8 時間以上を示しており、… 8 時間以内毎、
 正 …8 時間以内を示しており、…4 時間以内毎、
 ② Vol. 57No. 12(2008)「ET レベル 3 二次 C₂ (適用) 試験のポイント」2 ページ右 6 行目
 誤 (c) …低いほうがよい。
 正 (c) …高いほうがよい。
 ③ Vol. 60No. 2(2011)「ET レベル 3 二次 C₂ (適用) 試験のポイント」1 ページ左下から 9 行目
 誤 …反比例して高くする
 正 …比例して高くする
 ④ Vol. 60No. 5(2011)「ET レベル 2 一次一般試験問題のポイント」1 ページ右下から 7 行目
 誤 …2 倍になる。
 正 …4 倍になる。

S Mレベル2 一般・専門試験のポイント

非破壊試験技術者 SM (ひずみ測定) レベル2 の資格試験では、一次試験及び二次試験の指示書作成試験が筆記試験として実施されている。一次試験は一般試験と専門試験で構成されていて、いずれも四者択一形式で、出題数は各々30問 (合計60問)、試験時間は両者合わせて120分 (2時間) である。また、二次の指示書作成試験は四者択一と記述両方の形式で試験時間は30分である。

今回はこのうちの一次試験について紹介する。本試験の一般試験はひずみ測定に関係した基礎知識、専門試験は主に電気抵抗ひずみ測定法についての問題である。ここでは、この一次試験と同じ形式の具体的な問題例により、解答に当たってのポイントを解説する。

問1 以下に示すのは電気抵抗ひずみ測定法が応用されている例である。このうちで主に動的な現象への応用に関するものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 大きな物体の正確な重量の測定
- (b) 複雑な形状をした部材の応力分布の測定
- (c) 新素材の機械的性質を求める測定
- (d) 車両の速度制御のための加速度の測定

正答 (d)

ひずみ測定、とくに電気抵抗ひずみ測定法は広く応用されている。この方法を利用した「はかり」は大きな物体でも重量を正確に測定することができる。また、ひずみゲージが接着された箇所の局所的な測定ではあるが、多点の測定をすることで応力の分布が求められる。さらに、この測定法は材料の弾性係数などの機械的性質を求めるのにも利用されている。しかし、上述の応用例はいずれも静的なひずみの測定である。一方、走行中の車両の加速度を測定して速度の制御にも利用されているが、この場合は動的なひずみの測定になる。したがって、この間では (d) が正答になる。

問2 引張強さが 40 kgf/mm^2 の鋼材を使用した構造物と表示されていた。この鋼材の SI 単位系による引張強さを次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 356 MPa (b) 392 MPa
- (c) 400 MPa (d) 408 MPa

正答 (b)

従来、構造物の材料特性には重力単位が用いられており、構造材料の引張強さなどは「 kgf/mm^2 」で表示されていた。しかし、現在ではこの値を SI (国際) 単位系である「Pa (パスカル)」で表示することになっているので、重力単位で示された値を SI 単位に換算する必要がある。SI 単位系は絶対単位である。このため、重力単位の値に重力加速度 (9.8 m/s^2) を掛けた形になる。したがって、ここでの引張強さは、

$$40 \times 10^6 \times 9.8 = 392 \times 10^6 \text{ Pa} = 392 \text{ MPa}$$

になり、(b) が正答になる。

問3 縦弾性係数 207 GPa, ポアソン比 0.3 の平板上で x, y 二方向のひずみを測定したところ、 x 方向のひずみが 350×10^{-6} 、 y 方向のひずみが 200×10^{-6} であった。平面応力状態であるとして y 方向の応力の値を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 69.4 MPa (b) 77.9 MPa
- (c) 82.3 MPa (d) 93.3 MPa

正答 (a)

平面応力状態であるとする、 x, y 方向の応力 σ_x, σ_y とひずみ ϵ_x, ϵ_y の関係は次式で表される。

$$\sigma_x = E / (1 - \nu^2) \times (\epsilon_x + \nu \epsilon_y) \quad \dots(1)$$

$$\sigma_y = E / (1 - \nu^2) \times (\epsilon_y + \nu \epsilon_x) \quad \dots(2)$$

ここで、 E は材料の縦弾性係数、 ν はポアソン比である。本問では x, y 両方向のひずみ ϵ_x, ϵ_y が測定されており、 E 及び ν の値も与えられているので、これらを式 (2) に代入すると、

$$\sigma_y = \{207 \times 10^9 / (1 - 0.3^2)\} \times \{(200 + 0.3 \times 350) \times 10^{-6}\} = 69.4 \times 10^6 \text{ Pa} = 69.4 \text{ MPa}$$

になり、(a) が正答になる。

なお、上で示した式内の正負の符号は間違え易いが、平面応力状態とみなされる場合の問題はよく出題されるので、正確に覚えておいてもらいたい。

問4 ねじりを受けている縦弾性係数 210 GPa, ポアソン比 0.3 の車軸の表面で 45° 方向のひずみ 780×10^{-6} が測定された。この場合のせん断応力を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 147 MPa (b) 137 MPa
- (c) 126 MPa (d) 116 MPa

正答 (c)

この間のようなねじりを受ける軸材料の縦弾性係数を E 、ポアソン比を ν とする。また、表面で測定されている車軸の軸に対して 45° 方向のひずみは主ひずみになる。この主ひずみを ε_1 とすると、この場合のせん断応力 τ は次式の関係で示される。

$$\tau = \{E / (1 + \nu)\} \times \varepsilon_1 \quad \dots(3)$$

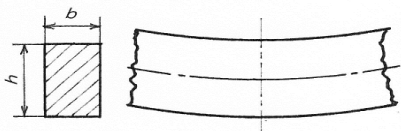
したがって、式(3)に与えられている値を代入すると

$$\begin{aligned} \tau &= \{(210 \times 10^9) / (1 + 0.3)\} \times 780 \times 10^{-6} \\ &= 126 \times 10^6 \text{ Pa} = 126 \text{ MPa} \end{aligned}$$

になり、(c) が正答になる。

なお、上で示した式も車軸のようにねじりを受ける場合、測定された主ひずみからせん断応力を求めるのに必要な関係式であるので、知っておいてもらいたい。

問5 下の図のように曲げを受ける幅 b 、高さ h の長方形断面のはりの断面係数 Z を示す式を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。



- (a) $Z = bh^2 / 6$ (b) $Z = b^2 h / 6$
- (c) $Z = bh^2 / 12$ (d) $Z = b^2 h / 12$

正答 (a)

この図のような幅 b 、高さ h で与えられた長方形断面の中立軸に関する断面係数 Z は $bh^2 / 6$ である。したがって、(a) が正答になる。

断面係数は曲げを受けるはりの応力を求める上で必要な係数である。このため、参考書などには各種の断面形状に対する断面係数が示されているが、長方形断面の場合は比較的簡単な式である。また、この長方形断面のはりは構造物に広く使用されており、はりの曲げ応力を求める問題も筆記試験で出題されているので、この程度の式は知っておいてもらいたい。

問6 比抵抗 ρ 、断面積 A 、長さ L の金属線の電気抵抗 R を示す式を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

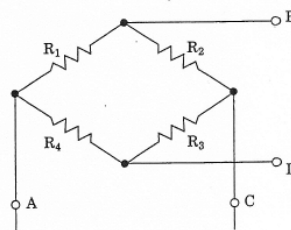
- (a) $R = \rho AL$ (b) $R = AL / \rho$
- (c) $R = \rho A / L$ (d) $R = \rho L / A$

正答 (d)

リード線などに使用している金属線の電気抵抗は長さに比例し、断面積に反比例する。また、この場合の比例定数に相当するのが比抵抗である。したがって、この間で示された記号を使用すると、電気抵抗 R は $\rho L / A$ となり、(d) が正答になる。

なお、この式の関係から、金属線が伸縮して長さ L と断面積 A が変化すると、電気抵抗 R が変化することになる。電気抵抗ひずみ測定法はこの現象を利用したものである。

問7 下の図の抵抗 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 で構成され、AC 間に電源電圧が印加されたホイートストンブリッジ回路で、 R_1 を 100Ω 、 R_2 を 20Ω 、 R_3 を 10Ω にしたときに BD 間の出力電圧が零になった。この場合の R_4 の抵抗値を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。



- (a) 30Ω (b) 50Ω (c) 70Ω (d) 90Ω

正答 (b)

図のようなホイートストンブリッジ回路の AC 間に電源電圧を印加したとき、平衡状態になり BD 間の出力電圧が零になるためには四つの抵抗の値が全て等しいか、あるいは以下の条件を満たす場合である。

$$R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4 \quad \dots(4)$$

この間では各抵抗の値が違うので、上の条件から $R_4 = (R_1 \times R_3) / R_2 = (100 \times 10) / 20 = 50\Omega$ になり、(b) が正答になる。

ここでは、主にひずみ測定の基本知識となる構造あるいは材料の力学並びに電磁気学に関係した問題例により SM レベル2 の一次試験における筆記試験の紹介をした。

本試験の問題は参考書『ひずみ測定 I』及び『ひずみ測定 II』に整合した内容で作成され、問題例の各数式も記載されている。このため、一次試験問題の解答に当たっては、これらの参考書を学んでおくことが重要である。