

ET レベル 3 二次 C_1 (基礎), C_2 (適用) 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 3 の試験は渦電流探傷試験の適用と実際に関する問題が出題され、参考書として JSNDI 発行の『渦流探傷試験Ⅲ』がある。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、渦電流探傷の試験コイルに一定電流の交流を流しコイルに非磁性の導体を近づけた場合の、コイルの磁束と渦電流により発生する磁界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) 試験周波数が高くなると渦電流の発生が大きくなり、渦電流の反発磁界は小さくなる。
- (b) 反発磁界の作用を受ける試験コイルの磁束は、試験周波数の増加に伴って増加する。
- (c) 試験コイルの磁束は渦電流の反発磁界により減少する。
- (d) 導体にきずがあると渦電流が減少するため、試験コイルの磁束が減少する。

正答 (c)

試験コイルに流している電流は一定であることから、コイルから発生する磁力線の強さは試験周波数に依存せず一定である。導体内に誘起される渦電流の量は、ファラデーの法則により試験周波数が高くなるほど多くなる。渦電流により発生する反磁界（コイルから発生した磁界と逆向き）の強さは渦電流の増加に伴い増加する。したがって、(a)は不正解である。コイル内の磁界の強さは、コイルから発生した磁力線による磁界と渦電流による反磁界との合成磁界であり、(b)は不正解である。導体にきずが存在すると見掛けの電気抵抗が増加し、渦電流が減少し試験コイル内の磁束は増加するため (d) は不正解である。したがって、正答は (c) となる。

なお、類似問題は ET レベル 1 にも出題されており、レベル 3 受験者は常識として理解しておく必要がある。

問 2 次の文は、試験コイルのインピーダンスへの影響因子のうち試験体に係わる因子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) 導電率の増減に伴うインピーダンスの変化は、正

規化インピーダンス曲線上で周波数の増減と同じ方向の変化を生じる。

- (b) 試験体の透磁率の増加は試験コイルのインダクタンスを増加させ、インピーダンスを減少させる。
- (c) 内挿プローブにおいて非磁性管の管外径を一定とした場合の肉厚の減少は、正規化インピーダンス曲線の動作点において曲線の外側方向に移動する。
- (d) 上置プローブを用いた非磁性平板の探傷における板厚の減少は、貫通プローブにおける充填率の減少と同じ方向に移動する。

正答 (a)

紙面の関係で詳細な説明は省くが、『渦流探傷試験Ⅲ』P.103「試験コイルのインピーダンス影響因子とインピーダンス変化」を参照すればよい。試験体の透磁率の増加は、コイル中の磁束を増加させ、コイルのインダクタンスを増やす。このインダクタンスの増加は、試験コイルのインピーダンスを増加させ、(b)は不正解である。内挿プローブにおいて非磁性管の管外径を一定とした場合の肉厚の減少は貫通プローブと同様に充填率の変化となり、正規化インピーダンス曲線の動作点において曲線の内側方向に移動し、(c)は不正解である。上置プローブを用いた非磁性平板の探傷における板厚の減少は、貫通プローブにおける充填率の減少と同様な現象ではあるが正規化インピーダンス曲線上の動作点が曲線の外側方向に移動し、(d)は不正解である。

導電率の増減に伴うインピーダンスの変化は、正規化インピーダンス曲線上で周波数の増減と同じ方向の変化を生じる。したがって、正答は (a) となる。

問 3 あるコイルに 0.1 秒間に 0.5 A の割合で変化する電流を与えたところ 2 V の誘導起電力を生じたとしたとき、このコイルの自己インダクタンスはどれか。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 0.1H (b) 0.2H (c) 0.4H (d) 0.8H

正答 (c)

コイルに電源をつなぎ電流を流すと磁界が発生する。電流が時間的に変化すると磁界が変化し、コイルの巻線に従って自己誘導現象により起電力が発生する。コイル自身が作った磁界の時間的な変化で、コイル自身に起電力が発生するという現象である。コイル自身の磁束の変化による起電力 $v(t)$ は、コイルの電流の変化 (di/dt) によることから次式で示される。

$$v(t) = -L \frac{di}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

式中の L は自己インダクタンスといわれ、単位は H(ヘンリー)である。今回の問題では、コイルの電流の変化が 0.1 秒間に 0.5A であり、2V の起電力が起きていることから、自己インダクタンスは 0.4H であり、したがって、正答は (c) となる。

問 4 丸棒鋼に対する貫通プローブのインピーダンス変化を f/f_c で表すと、きずによるインピーダンス変化が最大となる f/f_c はどれか。ただし、 f は試験周波数を、 f_c は特性周波数を示す。次の中から正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 1~10 (b) 15~50
- (c) 55~100 (d) 110~200

正答 (b)

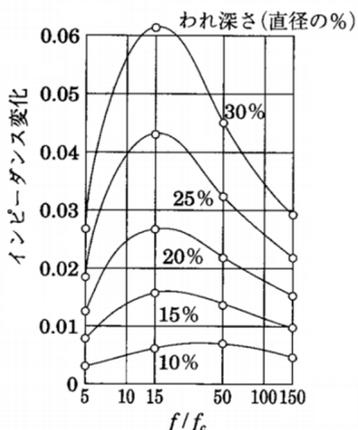


図 1 試験周波数と割れによるインピーダンス変化の関係

この問題を解くには現場経験が無いと理解し難い点があるが、参考文献として『渦流探傷試験Ⅱ』P.86「試験周波数の設定」を参照すればよい。図 1 は丸棒鋼に加工した割れによる貫通プローブのインピーダンス変化を示したもので、比較的深い割れに対して $f/f_c=15$ 、浅いきずに対しては $f/f_c=50$ 近くできずによるインピーダンス変化は最大値となる。したがって、正答は (b) となる。

類似問題として NDT フラッシュ Vol.62, No.04 (2013) に「鋼管の貫通プローブによる渦電流探傷試験において、内面と外面きずの位相差が最大となる f/f_c はいくつか。」という問題について解説があるので参考にするとよい。

問 5 次の文は、電磁誘導試験による磁性体の材質試験

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) 炭素鋼に含まれるケイ素とマンガンの含有量を試験コイルによりそれぞれ測定し、鋼材の種類を求めることができる。
- (b) 磁性体を磁気飽和コイルにより磁気飽和状態にして、その状態で微分透磁率を測定し、その測定値から導電率を求め鋼材の材質を特定する。
- (c) 磁性体の材質試験では磁気飽和コイルを用いて飽和磁化し、差動方式の試験コイルを使用しなければならない。
- (d) 初透磁率の変化を調べるものと、増分透磁率の変化を調べるものがある。

正答 (d)

電磁誘導試験による材質試験は、試験体の電磁気的特性(導電率 σ 、透磁率 μ) の変化を間接的に測定し行われる。したがって、炭素鋼に含まれるケイ素とマンガンの含有量を試験コイルによりそれぞれ測定するものではなく、(a) は不正解である。材質試験において試験体が磁性体の場合、導電率の変化は小さく、導電率の変化を利用することはほとんどなく、(b) は不正解である。磁性体は磁気特性が大きく変化するため、透磁率の変化を利用する方法が用いられている。透磁率の定義が多々あり、『渦流探傷試験Ⅲ』P.98「透磁率」を参照すればよい。試験体に磁気飽和を掛けた場合は微分透磁率の変化は小さくなる。したがって、(b) と (c) は不正解である。電磁誘導法による磁性体の材質試験は、上置プローブにより試験体に弱磁界を用いて初透磁率の変化を測定する方法と、貫通プローブより試験体に強磁界を用いて増分(変分)透磁率の変化を測定する方法がある。したがって、正答は (d) となる。

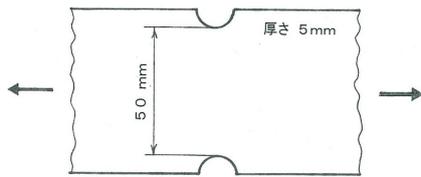
以上、ET レベル 3 の C_1, C_2 試験のポイントについて解説したが、受験者は『渦流探傷試験Ⅲ』に限らず、『渦電流探傷試験Ⅰ』、『渦流探傷試験Ⅱ』も精読することを勧める。

また、レベル 3 の試験には規格に関する問題が必ず出題されるが正答率は非常に低い。特に用語の定義は渦電流探傷試験に限らず全種目共通であり、JIS Z 2300:2009 の「非破壊試験用語」は必ず精読しておく必要がある。近年、渦電流探傷試験に関する JIS 規格が大幅に改定されており、最新の規格を一読することを勧める。受験者の健闘を祈ります。

SMレベル3 二次試験問題のポイント

これまでも機関誌の「NDT フラッシュ」欄で紹介してきたように、非破壊試験技術者資格試験のひずみ測定（SM）レベ3 二次試験の C₁（基礎）、C₂（適用）は四者択一形式の試験である。現在実施されている試験では両方合わせて 50 問出題されているが、このうちまだ本欄で紹介されていない問題もあるので、ここではこれらの類似問題を取り上げ、解説をする。

問1 下の図は半円切欠がある厚さ 5mm の引張荷重を受けた帯板である。帯板の切欠底の幅は 50mm、材料の弾性限度は 270MPa である。また、この切欠底の断面積で求めた公称応力に対する応力集中係数は 3.0 である。安全率を 3 とした場合の許容引張荷重を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。



- (a) 22.5kN (b) 15.0kN
- (c) 7.5kN (d) 5.0kN

正答 (c)

弾性限度を σ_e 、安全率を α とする。ここでの安全率は弾性限度を基準にしているので、許容応力 σ_s は以下のようなになる。

$$\sigma_s = \sigma_e / \alpha = 270 / 3 = 90 \text{MPa}$$

さらに、この切欠底の最大応力が許容応力になり、応力集中係数が 3.0 であるので、この場合の切欠底の公称応力 σ は以下のようなになる。

$$\sigma = \sigma_s / 3.0 = 90 / 3.0 = 30 \text{MPa}$$

一方、切欠底の断面積 A は

$$A = 5 \times 50 = 250 \text{mm}^2 = 250 \times 10^{-6} \text{m}^2$$

であり、許容荷重 P は切欠底で公称応力を受けた場合と考えられるので、

$$P = \sigma A = 30 \times 10^6 \times 250 \times 10^{-6} = 7500 \text{N} = 7.5 \text{kN}$$

になり、(c) が正答になる。

この問のように応力集中のある場合は、許容荷重から求められた公称応力に応力集中係数を掛けたときの最大応力が許容応力になるので注意してもらいたい。

問2 高分子材料や高温環境下での金属材料はクリープ現象を示し、これに対してクリープ試験が行われている。この試験で求めている関係を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) ひずみと時間の関係
- (b) 曲げモーメントとたわみの関係
- (c) 応力と破壊までの繰返し数の関係
- (d) 応力とひずみの関係

正答 (a)

クリープ現象は材料に負荷された荷重あるいは応力が一定であっても、ひずみが時間とともに変化する現象である。すなわち、クリープ試験は時間的に変化するひずみを求める試験であるので、(a) が正答になる。

なお、解答群の (b) は部材の面外変形を測定する試験、(c) は引張あるいは曲げの疲労試験、(d) は引張あるいは圧縮の静的試験で求められる関係である。

問3 構造物には各種の材料が使用されている。これらの材料には破壊強度に対して微小なきずの影響が非常に敏感なものと、比較的鈍感なものがある。次のうちで微小なきずの影響を最も敏感に受ける材料の一つを選び、記号で答えよ。

- (a) 耐熱チタン合金
- (b) 高分子系繊維強化複合材料
- (c) 鉄筋コンクリート
- (d) ファインセラミックス

正答 (d)

(a) のチタン合金でもきずが破壊強度に影響を及ぼす可能性はある。しかし、き裂などのきずの先端では塑性変形が生じ、この影響が緩和される。(b) の繊維複合材料、(c) の鉄筋コンクリートはいずれも微視的にはきずを持つ材料である。しかし、この微小なきずの破壊強度への影響はあまり敏感ではなく、複合材料の製造過程で入る気泡のようなきずは無視できるような場合もある。一方、ファインセラミックスは金属の微粉末を焼結した脆い材料で、微小なきずでも破壊に影響を及ぼす。このため、この問では (d) が正答である。

問4 構造物の変形測定では三次元的な変形の測定が必要な場合もある。次のうちで三次元物体の振動形の観察もできる測定方法の一つを選び、記号で答えよ。

- (a) 三次元光弾性法 (b) ホログラフィ干渉法
(c) スペックル法 (d) サーモグラフィ法

正答 (b)

構造物の弾性振動測定は固有振動数とこの振動数に対応する振動形を求めることが目的である。しかし、振動している三次元物体の面外変形である振動形を直接観察することは容易でなかった。これに対して、ホログラフィ干渉法は振動による物体の変形前後の再生像を重ね合わせたときに生じる面外変形のしま模様から、三次元物体の場合でも振動形を直接観察することが可能である。したがって、この問では (b) が正答になる。

なお、(a) の三次元光弾性法は三次元応力の解析法であるが、静的な場合の解析法で、振動のような動的な場合への適用はできない。また、(c) の平行レーザ光を物体面に照射したときに生じる斑点模様を観察するスペックル法、及び (d) の繰り返し荷重を受けた物体表面の断熱による温度変化を観察するサーモグラフィ法はいずれも面内変位 (ひずみ) を求める方法で、物体の三次元の動的な変形を観察をするのは不可能である。

問5 電気抵抗ひずみ測定法による衝撃ひずみの測定ではひずみゲージの周波数特性が重要になる。次のうちからひずみゲージの応答周波数について述べた正しい記述を一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 応答周波数は広く使用されているゲージ長 5mm のひずみゲージが最も高い。
(b) 応答周波数はゲージ長が長いひずみゲージほど高い。
(c) 応答周波数はゲージ長が短いひずみゲージほど高い。
(d) 応答周波数はひずみゲージのゲージ長には関係なく一定である。

正答 (c)

衝撃ひずみの測定ではゲージ受感部の長さを波動が通過するのに一定の時間がかかり、出力の立ち上がり時間が必要になる。ゲージ受感部の長さを L 、波動の伝ば速度を c とすると、立ち上がりに必要な時間は L/c になる。したがって、長さ L が短いほどこの時間が短くなり応答周波数は高くなるので、(c) が正答になる。

問6 抵抗 120Ω 、ゲージ率 1.96 のひずみゲージを長さ 10m の 2 線式リード線に接続し、1 ゲージ法の結線でひずみを測定したところ、 1500×10^{-6} が測定された。リード線 1m 当たりの抵抗値が 0.024Ω であった。このときの真のひずみの値を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 1536×10^{-6} (b) 1533×10^{-6}
(c) 1528×10^{-6} (d) 1520×10^{-6}

正答 (a)

ひずみゲージの抵抗 R 、ゲージ率 K 、リード線 1 本の抵抗 r とすると、2 線式リード線の場合の真のひずみ ε は測定されたひずみ ε_m から次の式で求められる。

$$\varepsilon = (2.00/K) \times (1+2r/R) \times \varepsilon_m$$

ここでは 10m の 2 線式リード線に接続しているので、

$$2r = 2 \times 0.024 \times 10 = 0.48\Omega$$

になる。これと与えられた値を上の式に代入すると、

$$\varepsilon = (2.00/1.96) \times (1+0.48/120) \times 1500 \times 10^{-6} = 1536 \times 10^{-6}$$

になり、(a) が正答になる。

問7 抵抗 120Ω 、ゲージ率 1.96 のひずみゲージを長さ 10m のリード線により、1 ゲージ 3 線結線法でひずみを測定したところ、 1500×10^{-6} が測定された。リード線 1m 当たりの抵抗値が 0.024Ω であった。このときの真のひずみの値を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 1536×10^{-6} (b) 1533×10^{-6}
(c) 1528×10^{-6} (d) 1520×10^{-6}

正答 (b)

この問でも ひずみゲージの抵抗 R 、ゲージ率 K 、リード線 1 本の抵抗 r とする。3 線結線法はリード線の抵抗の影響を小さくする手法である。この結線法ではリード線 3 本のうちの 2 本分の抵抗は打ち消し合い、1 本分の抵抗だけが関係することになるので、測定されたひずみ ε_m から真のひずみ ε を求める式は次のようになる。

$$\varepsilon = (2.00/K) \times (1+r/R) \times \varepsilon_m$$

リード線抵抗は $r = 0.024 \times 10 = 0.24\Omega$ になるので、

$$\varepsilon = (2.00/1.96) \times (1+0.24/120) \times 1500 \times 10^{-6} = 1533 \times 10^{-6}$$

したがって、この問では (b) が正答になり、2 線式の場合とは違っているので注意してもらいたい。