

ET レベル 3 二次 C₁ (基礎), C₂ (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、クロスポイントプローブ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) 自己誘導形の上置コイルである。
- (b) リフトオフ雑音が発生しやすい構造となっている。
- (c) きずとコイルの向きによって、きず信号の極性は逆となる。
- (d) きず信号はコイルの向きに関わらず影響を受けない。

正答 (c)

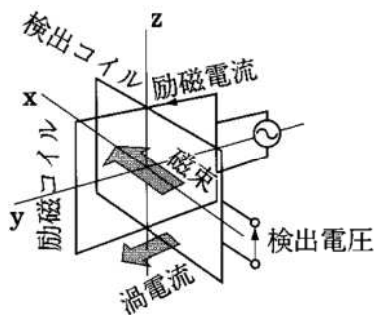


図 1 クロスポイントプローブの構造

この問題を解くにあたって、『渦流探傷試験Ⅲ』の p.53 に記載されているクロスポイントプローブを参照するとよい。図 1 はプローブの構造を示したものであり、タンジェンシャル型の励磁コイルに、これと 90 度回転させた検出コイルを組み合わせた相互誘導形の上置コイルであり、(a) は不正解である。励磁コイルは y-z 平面内に巻線を持つので、巻線近傍には x 方向の磁束が発生する。一方、検出コイルは x-z 平面内に巻かれているので、励磁コイルの作る磁束は検出コイルに交錯しない。したがって、きずや不連続部などのような磁束分布に乱れを生じさせる原因がないときは、検出コイルに起電力は発生せず、リフトオフ雑音が発生しにくい構造となっており、(b) は不正解である。

きずが励磁コイルに対して x-y 平面上で垂直となったときは、渦電流の流れが乱れて巻線に電界の寄与が発生

するが、正負逆方向の起電力が巻線に同時に発生するため、打ち消し合ってゼロとなり、きず信号は発生しない。したがって、(d) は不正解である。

きずが励磁コイルに対して x-y 平面上で 0~±90 度の範囲で傾いているときは、電界の x 軸方向成分が発生するため、検出コイルに起電力が発生する。なお、その電界は、きずの角度が正のときと負のときでは電界の x 軸方向成分の符号も逆となるため、発生する信号は正負逆となる。したがって、正答は (c) となる。

問 2 次の文は、導体中を流れる渦電流の導体内部の深さに対する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) 指数関数で進む。
- (b) 指数関数で遅れる。
- (c) 直線的に進む。
- (d) 直線的に遅れる。

正答 (d)

この問題は渦電流探傷試験の基礎知識を問う問題であり、『渦流探傷試験Ⅰ』、および『渦流探傷試験Ⅱ』にも説明が記載されている。渦電流は導体内部に浸透するに従って電流密度は減衰する。渦電流の時間的推移すなわち位相 θ は次式で示される。

$$\theta = -\left(\frac{\omega\mu\sigma}{2}\right)^{1/2} x \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 $\omega=2\pi f$: 角周波数、 μ : 透磁率、 σ : 導電率、 x : 導体内部の深さである。式(1)右辺の負の符号は遅れ位相であることを示す。正弦波の場合は、同式が示すように導体内部の深さに対し位相が直線的に遅れ、したがって、正答は (d) となる。

問 3 次の文は、試験コイルのインピーダンス変化を理解するための変圧器モデル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) 試験コイルのインピーダンスを x 軸、試験体のインピーダンスを y 軸に表したものがインピーダンス平面である。
- (b) 試験コイルと探傷器との接続をトランスに見立てたのが変圧器モデルである。
- (c) 試験コイルを 1 次コイル、試験体を 2 次コイルとして表現し、その結合を考えたモデルである。
- (d) 変圧器モデルにおけるインピーダンス曲線は 2 次曲線となる。

正答 (c)

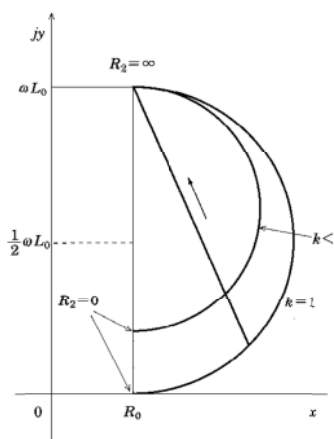


図 2 相互誘導回路のインピーダンス軌跡

渦電流試験機器に用いられる試験コイルのインピーダンスは次式のように複素数で表される。

$$\hat{Z} = R + j\omega L \dots\dots\dots(2)$$

複素インピーダンスを表すのに x 軸を実数部、y 軸を虚数部にとった複素インピーダンス平面を考え、この上に試験コイルのインピーダンスを表し、解析などに用いられるため、(a) は不正解である。

変圧器モデルとは、試験コイルのインピーダンス変化を理解するために、電力系統で用いられる変圧器に置き換え、変圧器の一次側を試験コイルとし、二次側を導体と見なしたものであり、導体の変化が試験コイルのインピーダンスに影響を与える過程とよく似た現象を観測することができ、(b) は不正解であり、正答は (c) となる。また、図 2 は変圧器モデルにおいて、相互誘導回路のインピーダンス軌跡を表したもので、k は 1 次コイルと 2 次コイルの結合係数を表しており、貫通プローブによる渦電流探傷試験におけるコイルの充填率 η に相当する。二次側のコイルに接続した抵抗 R₂ を変えることにより、二次側のインピーダンス変化は一次側に伝達され、図 2 の様な曲線を描くため、(d) は不正解である。

問 4 次の文は、探傷に使用する試験周波数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試験体中の渦電流による反発磁界が小さくなり、試験コイルの磁束が小さくなる。
- (b) 試験周波数によって、試験コイルのインピーダンスの絶対値は反比例して変化する。
- (c) 試験周波数の増加は、試験体の導電率の増加と同じように試験体中の渦電流を増加させる。
- (d) 正規化インピーダンス曲線を使用すると、試験コ

イルのインピーダンスの絶対値が試験周波数の増加とともに大きくなるがよく理解できる。

正答 (c)

渦電流探傷試験における反発磁界とは、試験体中に誘導された渦電流により生じた試験コイルの磁界に対し反発する磁界である。試験周波数が高くなると試験体中の渦電流の発生が活発となり、渦電流の反発磁界はますます増加する。この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減少する。したがって、(a) は不正解である。

試験コイルのインピーダンスの絶対値は、試験周波数に比例して大きくなるため、(b) は不正解である。

正規化インピーダンス曲線では、ωL₀ で正規化しているため、インピーダンスの絶対値が試験周波数とともに大きくなる現象を知ることができず、(d) は不正解である。

先に述べたように、試験周波数が高くなると試験体中の渦電流の発生が活発となり、これは試験体の導電率の増加と同じように試験体中の渦電流を増加させる。したがって、正答は (c) となる。

問 5 次の文は、貫通プローブを用いて鋼管の渦電流試験を行う際の試験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) 管の内外面のきずを弁別するために、内外面きずによる位相差が大きくなる周波数を選ぶ。
- (b) きずとガタ雑音によるインピーダンス変化の位相差が大きくなる周波数を選ぶ。
- (c) ガタ雑音によるインピーダンス変化が最小となる周波数を選ぶ。
- (d) 試験体の送り速度が速い場合でも、速度の影響は考慮しなくてよい。

正答 (b)

一般的に貫通プローブを用いて鋼管の渦電流試験を行う場合は、検査コストを削減するために、管の内外面きずの検出感度差を少なくするように、比較的低い試験周波数に設定し、内外面きずの位相差を小さくし、記録計は 1 ペン式で行われており、(a) は不正解である。試験周波数が低いと、渦電流探傷器の周波数応答性が悪化するため、(d) は不正解である。また、ガタ雑音による信号を最小とするには、探傷器の位相調整で行われ、(c) は不正解である。したがって、正答は (b) となる。

受験者の健闘を祈ります。

SMレベル3 二次 C₁ (基礎), C₂ (適用) 試験のポイント

ひずみ測定 (SM) レベル3 非破壊試験技術者資格試験の二次試験問題に関する解説はこれまでも本欄に掲載されているが、この試験は C₁, C₂, C₃ の項目で構成された筆記試験である。ここでは、このうちの C₁ (基礎) 及び C₂ (適用) の項目における問題について解説をする。これらの項目における問題は四者択一形式の試験で、前者の C₁ はひずみ測定全般に関する基礎知識、後者の C₂ は電気抵抗ひずみ測定法の適用についての内容である。

問1 稼動している構造物の部材は繰り返しの荷重を受けて疲労し、劣化あるいは損傷が生じる。このため、構造物の設計に際しては [1] が作用するときの疲労強度を推定する必要がある。この [1] に該当する荷重を一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 平均荷重 (b) 設計荷重
- (c) 実働荷重 (d) 最大荷重

正答 (c)

実際に稼動している状態で構造物が受ける荷重は実働荷重と称されている。構造物はこの荷重を基にして設計しなければならない。したがって、ここでは (c) が正答になる。しかし、一般にこの実働荷重の波形は複雑で、単純な正弦波形の荷重による疲労強度のデータからどのようにして実働荷重を推定するかが重要であり、このことも知っておいてもらいたい。

問2 二次元光弾性実験法は観察される等色線のしま模様のしま次数 N と主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_2)$ が式 (1) のような関係になることを利用して、複雑な形状の模型試験片の応力分布を解析する方法である。

$$N = \alpha t (\sigma_1 - \sigma_2) \quad (1)$$

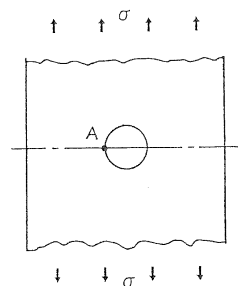
ここで α は光弾性定数、 t は試験片の厚さである。この関係から、等色線で直接求められるのは σ_1 , σ_2 個々の主応力ではなく主応力差の分布である。しかし、試験片の縁、すなわち自由境界では等色線のみでも主応力 σ_1 の分布が求められる。この分布が求められる理由を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 自由境界では接線方向の応力 σ_1 がなく、法線方向の応力 σ_2 のみになるため。

- (b) 自由境界では接線方向の応力 σ_1 に直交する法線方向の応力 σ_2 が存在するため。
- (c) 自由境界では接線方向の応力 σ_1 と法線方向の応力 σ_2 の大きさが等しくなるため。
- (d) 自由境界では法線方向の応力 σ_2 がなく、接線方向の応力 σ_1 のみになるため。

正答 (d)

例えば下の図のような引張応力 σ を受けた有孔帯板では両側あるいは孔縁が自由境界になる。この自由境界では、曲線になった孔縁の点 A でも接線方向の主応力 σ_1 のみに法線方向の主応力 σ_2 は存在しない。



このため、設問に示された式では $\sigma_2 = 0$ になり、観察された等色線しま模様の次数 N から接線方向の主応力 σ_1 の分布が簡単に求められる。したがって、この場合は (d) が正答になる。

問3 光弾性皮膜法は構造部材のひずみ分布を求める方法である。この方法では部材の表面に接着された皮膜上で観察される等色線のしまの次数 N が部材の主ひずみ差 $(\epsilon_1 - \epsilon_2)$ に関係することを利用して、次の記述はこの方法により構造部材の縁、すなわち自由境界のひずみについて述べたものである。このうちの正しい記述を一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 自由境界では法線方向の主ひずみ ϵ_2 のみしか求められないので、一般には接線方向の主ひずみ ϵ_1 を求めることができない。
- (b) 自由境界では接線方向と法線方向の主ひずみ ϵ_1, ϵ_2 が存在するが、部材のポアソン比が与えられていれば ϵ_1 を求めることができる。
- (c) 自由境界では曲線部分でもひずみ量が変化しないので主ひずみ差は求められるが、 ϵ_1, ϵ_2 各々の主ひずみは求められない。
- (d) 自由境界では法線方向の主ひずみ ϵ_2 が存在せず、接線方向の主ひずみ ϵ_1 のみになるので、この主ひずみが容易に求められる。

正答 (b)

接着されているのでひずみは皮膜も構造部材も同じになる。したがって、光弾性皮膜法では等色線のしま次数 N から部材の主ひずみ差 ($\varepsilon_1 - \varepsilon_2$) は求められるが、自由境界でも接線方向、法線方向両方向のひずみが存在するので、各々の主ひずみは求められない。しかし、構造部材のポアソン比を ν として、この値が与えられていれば $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = (1 + \nu) \varepsilon_1$ の関係から主ひずみ ε_1 を求めることもできる。したがって、(b) の記述のみが正しいので、これが正答になる。

なお、問2のような応力の場合は自由境界における法線方向の主応力は存在せず、接線方向の主応力だけが存在する。一方、この問のようなひずみの場合は自由境界でも接線方向、法線方向両方の主ひずみが存在する。二次元状態の場合の自由境界における主応力と主ひずみとは条件が違ってくる。これは基本的な知識であるので、知っておいてもらいたい。

問4 現在、コンクリート構造物の内部のひずみを測定するために埋込ゲージが使用されている。このひずみゲージが主に測定するひずみを次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

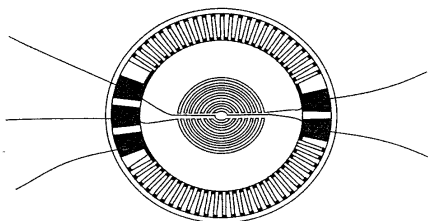
- (a) 圧縮ひずみ (b) せん断ひずみ
- (c) 曲げひずみ (d) 引張ひずみ

正答 (a)

埋込ゲージは、伸縮可能な金属円筒にはくひずみゲージを接着した受感部を密封し、コンクリート構造物打設の際に内部に埋込めるような構造になっている。

一般にコンクリートは圧縮荷重を受ける構造物に使用されている。したがって、このゲージも主に圧縮ひずみを測定することになるので、(a) が正答である。

問5 下の図は変換器用のダイアフラム形はくひずみゲージである。このゲージが使用されている変換器を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。



- (a) 荷重変換器 (b) トルク変換器
- (c) 圧力変換器 (d) 加速度変換器

正答 (c)

設問の図のように周辺の部分と中央の部分を金属はくのはく受感部にしたダイアフラム形ひずみゲージは、周辺で半径方向の引張ひずみ、中心部で円周方向の圧縮ひずみを受感するようになっている。このゲージを接着した円板が圧力を受けると、この圧力により生じたひずみを効果的に補足できる。このため、主に圧力変換器に使用されている。したがって、(c) が正答になる。

問6 電気抵抗ひずみ測定法関連の日本非破壊検査協会が制定されている規格 (NDIS) を以下に示した。この規格のうちから、測定器部品の互換性に関係したものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) NDIS 4001:2008 応力・ひずみ測定標準用語
- (b) NDIS 4102:2004 ひずみ測定用入力コネクタ
- (c) NDIS 4105:2003 静ひずみ測定器の性能試験方法
- (d) NDIS 4402:2012 ひずみゲージ試験通則

正答 (b)

ひずみ測定の実施に当たり互換性、すなわちいずれのメーカーの測定機器でもコードなどが接続できるようにするために接続部品のコネクタを統一した形状にする必要がある。NDIS 4102:2004 はこのコネクタの形状を制定した規格である。したがって、(b) が正答である。

なお、ひずみ測定器部品の互換性に対するものではないが、(a)、(c)、(d) もひずみ測定に関係した規格として NDIS に制定されているので、これらの規格についても知っておいてもらいたい。

ここでの問1～問3は主に C_1 、問4～問6は主に C_2 の項目に関連した問題例である。これらの問題例は二次試験で出題された問題と全く同じ形ではなく、とくに過去の試験では自由境界における応力あるいはひずみについての知識が不十分であったと思われるので、この点の理解を得るように、実際の二次試験問題よりも長い問題例になっている。

なお、各例題とも実際の試験問題と同様参考書『ひずみ測定Ⅲ』に準じているので、二次試験問題の解答をするに当たり各問題例の解説を参考にしてもらいたい。