

ET レベル3 パートD, E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3のパートD, E試験は主に参考書である『渦流探傷試験Ⅲ』から出題される。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。

パートDの類題

問1 次の文は、渦電流探傷器に用いられる発振回路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) 周波数の正確性と安定性が要求されることから、一般的に水晶振動子を用いた発振回路が用いられる。
- (b) 周波数の変更が容易な CR 発振回路が一般的に用いられる。
- (c) 水晶振動子による発振回路を使用した場合、発振周波数が固定されるため試験周波数を変更するためには、その都度、水晶振動子を取り換える必要がある。
- (d) 発振回路の出力は、フィルタ回路の遮断周波数を設定するために用いられる。

正答 (a)

CR 発振回路は水晶振動子を用いた発振回路より正確性と安定性が劣るため、(b) は不正解である。水晶振動子による発振回路は分周して任意の周波数を作り出すことができ、水晶振動子を取り換える必要はないため、(c) は不正解である。フィルタ回路の遮断周波数は、CR 等の受動素子の値の変更や、デジタル探傷器ではプログラムにより設定されているため、(d) は不正解である。したがって、正答は (a) となる。

問2 次の文は、マクスウェル方程式のうちの一つである下記の式の意味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。ここで、 $E$ は電界、 $B$ は磁束密度である。

$$\nabla \times E = -\partial B / \partial t$$

- (a) 磁束密度は、電界の変化によって生じる。
- (b) 磁束密度が時間的に変化すると、回転する電界を生じる。

- (c) 電界は、磁束密度の時間的変化に等しい。
- (d) 電界の時間変化は、磁束密度の時間変化を生じる。

正答 (b)

「 $\nabla \times$ 」はベクトルを「回転」させる演算のことであり、 $rot$ とも記される。 $\partial/\partial t$ はベクトルの時間による偏微分を表す。このことから与えられた式は磁束密度の時間変化と電界の回転の関係を表しており、マクスウェル方程式の一つである電磁誘導の法則であることがわかる。したがって、正答は (b) となる。電界の発生は、すなわち導体に電流を発生させることであることから磁束密度変化により渦電流が発生することを表していると考えれば分かりやすいであろう。

なお「 $\nabla \cdot$ 」はベクトルの発散の演算であり、 $div$ とも記される。この演算はベクトルの湧き出しや吸出しを表すものであり、マクスウェル方程式の  $\nabla \cdot B = 0$  は磁束線がある点から発生したり吸い込まれたりすることがない無終端であることを表している。

マクスウェル方程式については感覚的に理解している諸氏も多いと思われるが、渦電流試験の現象を定量的に説明するためには不可欠な方程式であることから理解して欲しい。

問3 次の文は、JIS Z 2300 : 2020「非破壊試験用語」での用語の定義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) きずとは、「目視で確認される試験材における不完全部又は不連続部。」である。
- (b) 欠陥とは、「規格、仕様書、指示書などで規定された合格基準を満たさない有害なきず。」である。
- (c) 装置の校正とは、「既知の対比きずによって、装置を比較すること又は装置の調整を行うこと。」である。
- (d) ノイズとは、「試験対象物の表面状態又は組織などに起因しない指示。」である。

正答 (c)

きずとは、「非破壊試験の結果から判断される不完全部又は不連続部。」である。目視で確認されないきずもありうる。欠陥とは、「規格、仕様書などで規定された合格基準を満たさず、不合格となるきず。」である。不合格であれば有害かどうかは問わない。ノイズとは、「試験対象物の表面状態若しくは組織、又は装置若しくは試験条件に

起因する本来的でない指示。」である。指示には試験対象物だけではなく装置側に起因する指示が含まれることに留意する必要がある。

パートEの類題

問4 次の文は、上置プローブを用いる場合の探傷試験器の調整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) リフトオフと感度とは関連性がないので、リフトオフ調整は感度調整の後に行ってもよい。
- (b) 位相と感度の調整は試験体と同じ材質の対比試験片の基準きずを用い、きず信号が最大となる位相に調整したのち、指定された振幅になるように感度を調整する。
- (c) 手動走査で探傷する場合のフィルタの設定は、走査速度の変動を十分考慮して機械走査時に比べてハイパスフィルタの遮断周波数はより高く設定する。
- (d) 振幅弁別回路レベルの設定は、検出対象のきずを見逃すことがないように基準きずのレベルより低くする。

正答 (d)

リフトオフ（プローブと試験体との相対距離）が大きいほど感度が下がるため、(a)は不正解である。リフトオフの変化が最小になるように位相を調整する方がSN比の面で有利であるため、(b)は不正解である。ハイパスフィルタの遮断周波数は走査速度より十分低くする必要がある。一般に手動走査は機械走査と比較して走査速度は遅いことと、同等であっても速度変動で低下することがあるため、(c)は不正解である。したがって、正答は(d)となる。

問5 次の文は、上置プローブを用いた渦電流探傷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。

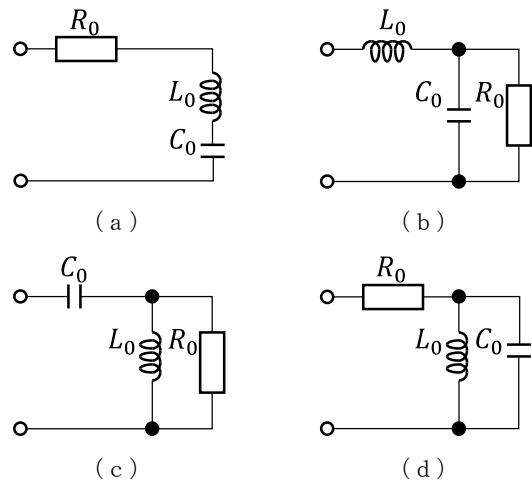
- (a) プローブに磁気シールドを使用する場合、磁気シールド材にはアルミや真鍮が適している。
- (b) プローブに磁気シールドを使用する目的は、コイルから生じる磁界強度を一定にするためである。
- (c) きずの応答領域を広くしたい場合、プローブ内のコイル径は大きく設定する。
- (d) 上置プローブはリフトオフ変化の影響が小さいた

め、リフトオフ制御装置は不要である。

正答 (c)

アルミや真鍮は比透磁率がほぼ1であり、磁気シールドとしての効果は強磁性体と比較して低いため、(a)は不正解である。また磁気シールド材は磁束が生じる範囲を制限するために用いられるため、(b)は不正解である。なお磁気コアは、磁束密度を高めるために用いられる。きず信号はリフトオフの影響を受けることから、リフトオフを一定に保つための何らかの対処が必要であるため、(d)は不正解である。したがって、正答は(c)となる。

問6 次の文は、JIS Z 2316-3:2014「プローブの特性及び検証」で定義された励磁コイルの等価回路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。 $R_0$ は抵抗、 $L_0$ はインダクタンス、 $C_0$ は静電容量とする。



正答 (d)

正答は(d)となる。 $R_0$ は巻き線の抵抗、 $L_0$ はコイルのインダクタンス、 $C_0$ はコイルの巻き線間のキャパシタンスを表す。

ET レベル 1, 2 を受験される方へお知らせ

2023年春期再認証試験より、貫通試験に使用する記録計が変更となります。以下、JSNDI ホームページ内の<D8.UT,ET及びTT実技試験について>の記録計に関連する資料(EA11-1, EA11-2)を参照してください。

<JSNDI ホームページ>

<http://www.jsndi.jp/qualification/index1n-04.html>

ST レベル3 パートD, E 試験のポイント

近年出題された二次試験のパートD, E 試験問題のうち、特に正答率の低かった問題と類似した例題により、各パートのキーポイントを解説する。以下に取り上げた問1～問3はパートD, 問4～問5はパートEの試験問題と類似した例題である。なお、ST レベル3の類似問題のキーポイントについては、以前のNDTフラッシュ欄(Vol.70, No.11, 2021)にも関連する解説があるので、ぜひ参照してほしい。ここでは重複するので取り上げなかったが、前回の解説で取り上げた類題も依然として正答率が低いので、その復習をお勧めする。

パートDの類題

問1 疲労限度に関す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) 鉄鋼材料の場合、明確な疲労限度が見られない場合が多い。
- (b) 非鉄金属の場合、明確な疲労限度が見られない場合が多い。
- (c) 負荷応力が規則的に変動するとき、その平均応力が引張になると疲労限度は増加する。
- (d) 負荷応力が規則的に変動するとき、その平均応力が圧縮になっても疲労限度は変わらない。

正答 (b)

構造部材の「疲労限度」に関する問題は、以前にもSTレベル3の類似問題として解説された。ここでは、別の視点から再度、「疲労限度」を取り上げる。材料に一定の応力振幅 $\sigma_a$ をもつ正弦波状の応力波形(図1)を繰り返して負荷して、破壊するまでの繰返し数 $N$ との関係をもとめて表示した線図を、 $S-N$ 曲線(図2)と呼ぶ。この $S-N$

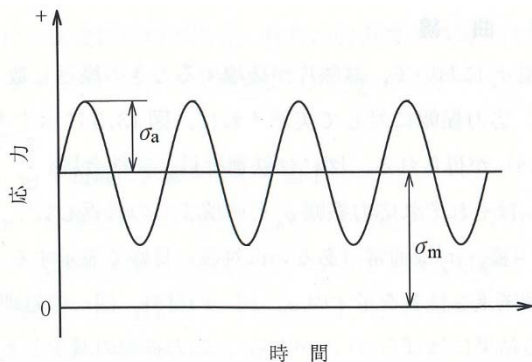


図1 応力波形の例(応力振幅 $\sigma_a$ と平均応力 $\sigma_m$ )

曲線において、鉄鋼材料では一定の応力振幅 $\sigma_a$ で負荷しても、破壊しなくなる限界の応力振幅(図2の平坦部の応力振幅)が存在し、これを疲労限度と呼ぶ。しかし非鉄金属ではこのような疲労限度は存在せず、応力振幅の減少とともに破壊までの繰返し数は無限に増大していく。さらに図1に示す平均応力 $\sigma_m$ が引張(+)の場合には、疲労限度は低下し、圧縮(-)の場合には疲労限度は上昇することが知られている。以上の説明から、(a), (c), (d)は誤りであり、正答は(b)となる。

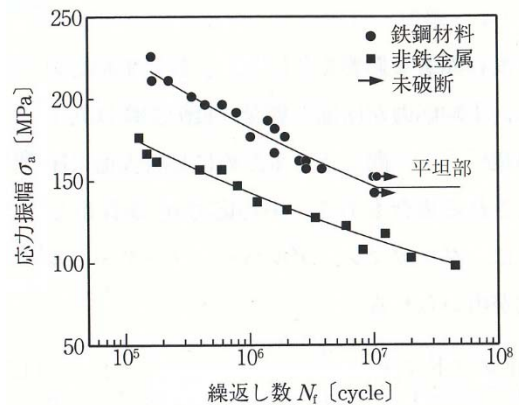


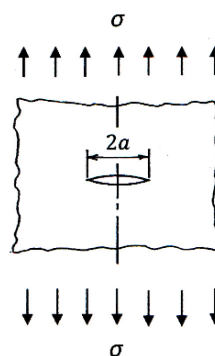
図2 鉄鋼材料と非鉄金属の $S-N$ 曲線例

問2 図のような長さ $2a$ の貫通き裂をもった無限板が、遠方で一様な引張応力 $\sigma$ を受けた場合のモードI(開口型)の応力拡大係数 $K_I$ は、次式で与えられる。

$$K_I = F \sigma \sqrt{\pi a} \quad [\text{MPa}\sqrt{\text{m}}]$$

このとき、荷重条件とき裂形状に依存した補正係数 $F$ の値はいくらになるか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 1.00 (b) 1.12 (c) 1.20 (d) 1.50



正答 (a)

線形破壊力学によると、上図の無限板の応力拡大係数は、 $K_I = \sigma \sqrt{\pi a}$  で与えられる。すなわち、 $F=1.00$  になるため、正答は(a)となる。この式の導出は、き裂先端の複雑な応力解析が必要となるので、ここでは説明を

省略する。この応力拡大係数が材料固有の限界の応力拡大係数（破壊じん性）を超えると、き裂が進展して破壊する。現実の有限板の横幅と縦幅が、き裂長さ  $2a$  に比較して十分大きければ、上記の応力拡大係数の公式が十分な精度で適用できる。

問3 高分子材料は、一般的に固有の粘弾性を示す。この粘弾性に関する次の記述のうちから、正しいもの一つを選び、記号で答えよ。

- (a) 一定の引張応力下で、ひずみは時間とともに減少する。
- (b) 一定の引張応力下で、ひずみは時間とともに増加する。
- (c) 一定の引張応力下で、ひずみは時間が経過しても変化しない。
- (d) 一定の引張応力下で、ひずみは時間とともに変動する。

正答 (b)

高分子材料のクリープ現象を問う問題であり、以前のST レベル2の類題として解説されている。一般的な箔ゲージのゲージベース材料は、高分子材料のプラスチックフィルムが使用される。この材料は一定引張応力下で、とくに高温では時間の経過と共にひずみが徐々に増大する。したがって、正答は (b) となる。実際のひずみゲージによる高温でのひずみの測定量は、試験体のクリープ量とゲージクリープ量の絶対値の差となり、その符号はクリープ量の大きな方となることに注意されたい。

パートEの類題

問4 抵抗値  $R$  のひずみゲージにおいて、温度が  $\Delta T$  変化したときの抵抗変化率  $\Delta R/R$  は、次のどの式で示されるか。正しいもの一つを選び、記号で答えよ。

- (a)  $\Delta R/R = \{\beta_g \times K_T(\alpha_s - \alpha_g)\}\Delta T$
- (b)  $\Delta R/R = \{\beta_g + K_T(\alpha_s - \alpha_g)\}\Delta T$
- (c)  $\Delta R/R = \{\alpha_g \times K_T(\beta_g + \alpha_s)\}\Delta T$
- (d)  $\Delta R/R = \{\beta_g \div K_T(\alpha_g - \alpha_s)\}\Delta T$

ここで

- $\beta_g$  : ひずみゲージの抵抗体の抵抗温度係数 [1/°C]
- $K_T$  : 温度  $T$  におけるひずみゲージのゲージ率 [-]
- $\alpha_s$  : 試験体の線膨張係数 [1/°C]
- $\alpha_g$  : ひずみゲージの抵抗体の線膨張係数 [1/°C]

正答 (b)

ひずみゲージが温度変化  $\Delta T$  を受けたとき、ひずみゲージの抵抗値  $R$  が変化し、ひずみゲージを接着した試験体も温度変化により熱膨張（あるいは熱収縮）する。抵抗変化  $\Delta R$  は、抵抗体自身の温度変化  $\Delta T$  による効果および試験体の線膨張係数と抵抗体の線膨張係数との差による熱ひずみの効果の和として、次のように書ける。

$$\Delta R = \beta_g R \Delta T + K_T(\alpha_s - \alpha_g) R \Delta T \quad (1)$$

ここで、上式の第1項は次の抵抗体の温度変化式

$$R_T = R(1 + \beta_g \Delta T) = R + \Delta R \quad (2)$$

の第2項から求まる。また式(1)の第2項は熱ひずみ  $\varepsilon_T$  と抵抗変化率の関係から

$$\Delta R/R = K_T \varepsilon_T = K_T(\alpha_s - \alpha_g) \Delta T \quad (3)$$

となる。式(1)を変形すると、次式が得られる。

$$\Delta R/R = \{\beta_g + K_T(\alpha_s - \alpha_g)\} \Delta T \quad (4)$$

したがって、正答は (b) となる。

問5 1液加熱硬化型接着剤を使用して接着されたひずみゲージにより、室温 20°C から 200°C までの温度範囲でひずみ測定をしたい。このような場合にも使用可能な接着剤は次のうちのどれか。正しいもの一つを選び、記号で答えよ。

- (a) シアノアクリレート系接着剤
- (b) ポリエステル系接着剤
- (c) フェノール系接着剤
- (d) エポキシ系接着剤

正答 (c)

ひずみゲージの試験体への貼付では、使用する各種の接着剤の温度特性を知っておくことが重要である。これと関連した問題は、以前にも ST レベル1の類似問題として解説された。以下の表1に示す使用温度範囲と混合形式から、両条件を満たす接着剤は、フェノール系接着剤だけである。したがって、正答は (c) となる。

表1 接着剤の使用温度範囲と混合形式

接着剤の種類	使用温度範囲 (°C)	混合形式
シアノアクリレート系	-196~120	1液
ポリエステル系	-30~300	2液
フェノール系	-196~200	1液
エポキシ系	-196~170	2液