

ST レベル 3 パート D, E 試験のポイント

近年出題されたパート 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、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 7 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、直近の NDT フラッシュ欄 (Vol.69, No.7, 2020) に前回の解説があるので参考にされたい。

パート D の問題

問 1 内圧を受ける円筒の断面において、その肉厚  $h$  が内半径  $R$  に比較して十分に小さいとき、半径方向に作用する応力  $\sigma_r$  は円周方向の応力  $\sigma_\theta$  と軸方向の応力  $\sigma_z$  に比較して無視できる。このような薄肉円筒部において、生じている応力状態を何と呼ぶか。次の内から正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 静水圧
- (b) 平面応力
- (c) 平面ひずみ
- (d) 一様ひずみ

正答 (b)

図 1 に示すように、内圧  $p$  を受ける円筒容器の左右の底板 (鏡板) からある程度離れた薄肉部内には、円周方向の応力  $\sigma_\theta = p(R/h)$  と軸方向の応力  $\sigma_z = p(R/2h)$  が生じ、せん断応力は生じない。肉厚  $h$  は内半径  $R$  に比較して十分小さいので、肉厚 (面外) 方向に沿う半径方向の応力  $\sigma_r$  (内半径  $R$  で  $\sigma_r = -p$ , 外半径  $R+h$  で  $\sigma_r = 0$ ) は  $R/h \gg 1$  から、 $\sigma_\theta$  と  $\sigma_z$  に対して無視できる。この応力状態は薄板の面内に発生する平面応力とほぼ同じと見なせるので、正答は (b) となる。厚板の面内に生じる (c) の平面ひずみとは異なる。(a) の静水圧は、静止した水中にある物体に全方向から一様に作用する圧力をいう。(d) の一様ひずみは、公称引張応力-ひずみ曲線上の引張強度に対応するひずみを指す。

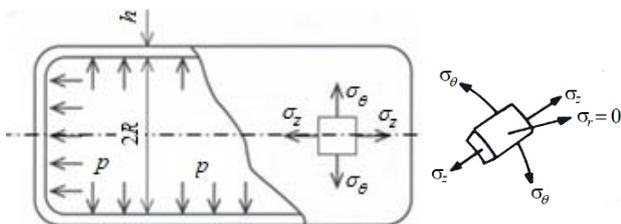


図 1 内圧を受ける円筒容器内の応力状態

問 2 モアレ法は光の干渉縞の模様から測定物 (試験体) に生じた変位やひずみを求める全視野光学的計測法である。この方法に関する正しい記述を、次のうちから一つ選び記号で答えよ。

- (a) モアレ法では、残留ひずみの平均値が測定できる。
- (b) モアレ法では、測定物の面外変位が測定できるが面内ひずみは測定できない。
- (c) モアレ法では、高密度の格子を使用すると微小な面内変位が測定できる。
- (d) モアレ法では、曲面の 3 次元変位が測定できる。

正答 (c)

ST レベル 3 ではひずみゲージ法以外の測定法の知識も必要とされる。モアレ法は測定物の表面に試料格子を貼り付けて、基準格子との重ね合わせから発生するモアレ縞を測定することにより、面内の微小な変位やひずみを 2 次元平面内で高精度に測定する方法である。測定対象が曲面でも面内変位を測定できるが、面外変位は測定できないため、(a) は間違いである。(b), (d) に関する記述は間違いである。測定物にすでに発生している残留ひずみの測定にモアレ法は適用できない。したがって、正答は (c) となる。

問 3 一般の構造用材料には、本質的にき裂が内在している。実際の材料の強度は、き裂の全く存在しない理想的な材料の理論強度と比べてどの程度の大きさであるか。次のうちから正しい記述を一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 材料の理論強度よりも非常に低い。
- (b) 材料の理論強度よりもやや低い。
- (c) 材料の理論強度よりもやや高い。
- (d) 材料の理論強度よりも非常に高い。

正答 (a)

理想的な材料とはき裂のない完全結晶体を意味し、その破壊は微視的には原子結合の切断によって生じる。その破面が負荷方向と平行なとき、せん断破壊が生じ理論せん断強度は  $G/10$  ( $G$ :剛性率) 程度となる。一方、破面が負荷方向と垂直なとき、へき開破壊 (結晶粒内部の特定の結晶面に沿う破壊) が生じ、理論へき開強度は  $E/10$  ( $E$ :縦弾性係数) 程度となる。しかし実際の材料 (多結晶体) では、き裂や各種の格子欠陥 (原子空孔, 転位など) が元々内在するため、例えば引張強度では理論強度の約  $1/100 \sim 1/20$  程度となり、非常に低くなる。したがっ

て、正答は (a) となる。

パート E の問題

問 4 1 アクティブゲージ法 (抵抗値  $R = 120 \Omega$ ) でひずみ測定をしたところ、 $\varepsilon = 820 \times 10^{-6}$  であった。このときのひずみゲージの抵抗変化量  $\Delta R$  は、いくらになるか。次のうちから最も近い値を一つ選び、記号で答えよ。ただし、ゲージ率  $K = 2.06$  とする。

- (a)  $0.1 \Omega$                       (b)  $0.2 \Omega$
- (c)  $0.3 \Omega$                       (d)  $0.4 \Omega$

正答 (b)

ひずみゲージの抵抗変化率  $\Delta R/R$  は、ゲージ率  $K$  と測定ひずみ  $\varepsilon$  により

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

で与えられる。上式はひずみゲージ測定における基本的な関係式であり、ST レベル 1 や ST レベル 2 における関連問題としてもよく出題されているので、その導出法をよく学習しておいてほしい。この式を利用すると、抵抗変化量  $\Delta R$  が次のように求まる。

$$\Delta R = RK\varepsilon = 120 \times 2.06 \times 820 \times 10^{-6} \approx 0.203 \Omega$$

したがって、正答は (b) となる。

問 5 ひずみ測定において、変換器の延長ケーブルを長く伸ばしたときに用いられる方法を、何と呼ぶか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 3 線結線法                      (b) アクティブ・ダミー法
- (c) リモートセンシング法        (d) 並列抵抗挿入法

正答 (c)

変換器の延長ケーブルが長くなると、その導体抵抗および周囲の温度変化により生じる測定誤差を監視するために、ブリッジ回路の入力側に一對のケーブルを追加して印加電圧を監視する。この方法を、リモートセンシング法という。したがって、正答は (c) となる。(a) の 3 線結線法は、長いリード線の抵抗変化の測定ひずみへの影響を除去するための結線法である。(b) のアクティブ・ダミー法は、測定物の温度変化による熱ひずみを除去する結線法である。(d) の並列抵抗挿入法は、ひずみゲージのリード線が長い場合に、正確な校正値 (等価ひずみ) を発生させる方法として、ひずみゲージと並列に大きな抵抗を挿入する方法をいう。

問 6 定格容量  $10 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 、定格出力  $3900 \times 10^{-6}$  のトルク変換器の校正係数 (等価ひずみ表示による) はいくらか。次のうちから最も近い値を一つ選び、記号で答えよ。ただし、ゲージ率  $K = 2.20$  のひずみゲージとブリッジ電源電圧  $2 \text{ V}$  の測定器を使用して校正を行った。

- (a)  $0.00114 \text{ kN m}/10^{-6}$
- (b)  $0.00128 \text{ kN m}/10^{-6}$
- (c)  $0.00228 \text{ kN m}/10^{-6}$
- (d)  $0.00256 \text{ kN m}/10^{-6}$

正答 (d)

等価ひずみ表示による校正係数は、定格荷重における  $1 \times 10^{-6}$  ひずみ ( $= 1 \mu \varepsilon$ ) に対する物理量であり

$$\text{校正係数} = \frac{\text{定格トルク}}{\text{定格出力}} = \frac{10 \text{ kN} \cdot \text{m}}{3900 \times 10^{-6}} = 0.002564 \frac{\text{kNm}}{10^{-6}}$$

となる。したがって、正答は (d) となる。校正係数は、使用したひずみのゲージ率  $K$  やブリッジ電源電圧とは直接に関係しないことに注意されたい。

問 7 磁界中のひずみゲージ試験では、磁気抵抗効果の影響を受ける。この磁気抵抗効果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) 磁気抵抗効果は、温度の影響を受けない。
- (b) ひずみゲージの抵抗体の材質は、磁気抵抗効果の影響をあまり受けない。
- (c) アクティブ・ダミー法が適用できれば、磁気抵抗効果の補償が理論的には可能である。
- (d) 磁気抵抗効果は、一般に磁界の方向とひずみゲージの軸が平行のときに大きい。

正答 (c)

特殊環境下のひずみ測定として、磁界中のひずみゲージ試験の磁気抵抗効果を問う問題である。ひずみゲージに使用されている抵抗体材質 (例えば、銅-ニッケル合金など) の磁気抵抗効果は温度の影響を受け、とくに低温域において磁束密度の増大とともに著しくなる。通常の温度補償のために利用されるアクティブ・ダミー法は、アクティブゲージとダミーゲージを同一の磁場状態にできれば、磁気抵抗効果の補償が理論的には可能である。

(a)、(b) は上記の説明から間違いである。磁気抵抗効果は磁界の方向とひずみゲージの軸方向とは関係なく、その影響を受けるので、(d) は間違いである。したがって、正答は (c) となる。

L T レベル 3 パート D, E 試験のポイント

LT は 2012 年秋のレベル 1, 2013 年春のレベル 2 開始の後, NDIS から JIS Z 2305 への移行とともに 2019 年よりレベル 3 の認定試験が開始された。今回はレベル 3 パート D, E 試験問題より, 特に重要と思われる問題の類似問題を例示しながら, 解答のポイントを解説する。

パート D の問題

問 1 20 °C で内圧が 100 Pa, 内容量 200 ℓ の真空容器があった。この容器に, 3 g のエチルアルコールが外部から入ったとすると, その内圧はいくつに変化するか。もっとも近いものを一つ選び, 記号で答えよ。ただし, エチルアルコールの分子量は 46 とする。また, 容器内の温度変化はなかったとする。(圧力は絶対圧力とする。)

- (a) 1520 Pa                      (b) 895 Pa
- (c) 460 Pa                        (d) 220 Pa

正答 (b)

標準状態 (0 °C, 1.01325×10<sup>5</sup>Pa) では気体は 1 mol あたり 22.4 ℓ となる。エチルアルコールは 46 g/mol であり, 20 °C 環境下の 3 g のエチルアルコールの体積 V は標準状態 (0 °C=絶対温度 273K) の体積 V<sub>0</sub> に比べて絶対温度に比例するので,

$$V = V_0 \times (273+20)/273$$

$$= (3/46 \times 22.4 \text{ ℓ}) \times (273+20)/273 \approx 1.57 \text{ ℓ}$$

となる。200 ℓ タンクでは 1.01325×10<sup>5</sup> Pa×1.57 ℓ/200 ℓ =795 Pa の分圧となる。最初の分圧の 100 Pa に 795 Pa 加算されるので 895 Pa となる。よって, 正答は (b) である。

問 2 2 枚の板を間隔 40 μm 離して平行に液面に立てたとき, 液が毛管現象で上昇する高さとして, もっとも近いものを一つ選び, 記号で答えよ。ただし, 液の表面張力を 5.0×10<sup>-3</sup> N/m, 管と液の接触角を 30°, 比重を 0.8 とする。

- (a) 82 cm                      (b) 19 cm
- (c) 7 cm                        (d) 3 cm

正答 (d)

平行な隙間を上昇する高さ h は,  $h = 2\gamma \cos\theta / d\rho g$  ( $\gamma$ : 表面張力(N/m),  $d$ : 板の間隔(m),  $\rho$ : 液体の密度(kg/m<sup>3</sup>),  $g$ : 重力加速度(≈9.8m/s<sup>2</sup>)) であるから,  $\cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$  より

$$h = (2 \times 5.0 \times 10^{-3} \times \frac{\sqrt{3}}{2}) / (40 \times 10^{-6} \times 0.8 \times 10^3 \times 9.8)$$

$$\approx 0.028 \text{ m となる。よって, 正答は (d) である。}$$

問 3 圧力変化チャンバ法を行った。内容積 300 ml のチャンバに, 体積 200 ml の試験体を納め, 試験体内部を 100 kPa のゲージ圧で加圧し 5 秒放置した。試験体に 0.01 Pa・m<sup>3</sup>/s の漏れがあった場合, 放置後のチャンバ内圧はどう変化しているか正しいものを選び。ただし, 大気圧及びチャンバ内の初期圧は絶対圧で 100 kPa であり, 温度及び大気圧は変化しないものとする。

- (a) 50 Pa 上昇する                      (b) 100 Pa 上昇する
- (c) 500 Pa 上昇する                      (d) 1000 Pa 上昇する

正答 (c)

試験体内圧 P<sub>abs1</sub>(Pa), 試験体体積 V<sub>A</sub>(m<sup>3</sup>), チャンバ内圧 P<sub>abs2</sub>(Pa), チャンバ内容積 V<sub>C</sub>(m<sup>3</sup>), 漏れ時間 Δt(s) の場合, 容積漏れ量 Q(Pa・m<sup>3</sup>/s) は以下の式で表される。

$$Q = (V_C - V_A) \times (P_{abs2} - P_{abs1}) / \Delta t$$

よって, 放置後のチャンバ内圧は以下となる。

$$P_{abs2} = \{ Q / (V_C - V_A) \} \times \Delta t + P_{abs1}$$

$$= \{ 0.01 / (300 \times 10^{-6} - 200 \times 10^{-6}) \} \times 5$$

$$+ 100\,000 \text{ Pa [abs]}$$

$$= 100\,500 \text{ Pa [abs]}$$

$$= 500 \text{ Pa [gage]}$$

よって, 正答は (c) である。圧力の表示は真空を基準にした絶対圧と, 大気圧を基準としたゲージ圧の表記がある。換算を間違えないように注意していただきたい。

問 4 AE 漏れ試験に関する次の記述のうち, 正しいものを一つ選び, 記号で答えよ。

- (a) AE センサを 2 個用いて漏れ箇所を特定する。
- (b) AE センサは 1 個でよく, センサを当てる箇所を変えて漏れ箇所を特定する。
- (c) 1 個の AE センサで, 受信した信号の強度から漏れ量を測定する。
- (d) 2 個の AE センサを用いて受信信号の強度の差から漏れ量を測定する。

正答 (a)

AE センサは漏れ箇所が発生する音波が内部に流体を有する配管あるいは容器の器壁を固体内伝搬していくのをとらえる。漏れ箇所はセンサの指向性でとらえるので

はなく、ある時刻に発生したイベントを複数のセンサで測定し信号波形の相関を元にセンサから漏れ箇所までの距離を求めて漏れ箇所を特定する。このためセンサは 2 個同時に配置する必要がある。漏れ量は測定できない。よって、正答は (a) となる。

**問 5 次の文は、ヘリウム漏れ試験方法のスプレ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) ディテクタのテストポートの O-リング部は脱着の際、漏れが発生する可能性が高く、毎回時間をかけてヘリウムガスの吹付けを行う。
- (b) 試験体へのヘリウムガス吹付けは、ガス圧を高めにして漏れ箇所へ強く吹きつけた方が良い。
- (c) 試験体へのヘリウムガス吹付けは、ガス圧を低めにして漏れ箇所に弱く吹きつけた方が良い。
- (d) 試験体へのヘリウムガス吹付けは、風の影響を受けるので密閉した狭い室内で行うことが望ましい。

**正答 (c)**

基本的だが重要なポイントの理解度を問う問題である。ヘリウム漏れ試験に用いるヘリウムガスは長時間吹き付けると O-リング部から透過現象により内部へ透過する。このため、長時間同一箇所への吹付や密閉空間での長時間吹付による空間中のヘリウム濃度上昇は、漏れ誤認の要因となる。ガス圧を高めると吹き付けるヘリウムガス流量が増加するため、長時間の吹き付け同様に透過現象のリスクが増える。よって、正答は (c) となる。

**パート E の問題**

**問 6 JIS Z 8103(計測用語)による校正について、正しく説明しているものはどれか。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。**

- (a) 指定の条件下において、第一段階で、測定標準によって提供される不確かさを伴う量の値とそれに対応する指示値との不確かさを伴う関係を確認し、第二段階で、この情報を用いて指示値から測定結果を得るための関係を確認する操作
- (b) 計測又は測定系の示す値、もしくは実量器又は標準物質の表す値を標準によって、実現される値になるように表示のスパン調整をする一連の操作
- (c) 計測又は測定系の示す値、もしくは実量器又は標準物質の表す値を標準によって、実現される値で

割ることにより標準との比を算出する一連の操作  
(d) 計測又は測定系の示す値、もしくは実量器又は標準物質の表す値と標準によって、実現される値との差の無いように零点で調整する一連の操作

**正答 (a)**

校正とは、零点で調整する作業や表示のスパン調整をする作業ではない。標準によって提供される不確かさを伴う量と指示値との関係の確認だけでなく、そこから指示値より測定結果を得るための関係を確認する操作までを含む。よって、正答は (a) となる。

**問 7 圧力変化法差圧法で量産ラインの試験体同士を対比させる試験を行う場合の注意点を示すものはどれか。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。**

- (a) 対比する試験体同士が同じ測定環境になるように配慮して試験を行う。不良判定時は、試験圧を高くして漏れ量を大きくした再試験を行い確認する。
- (b) 試験結果(測定値)、不良率、不良状況を常に監視し生産ラインの健全性を維持する。試験を 2 回繰り返し、2 回の試験結果の差異が一定であることを確認する。
- (c) 対比する試験体同士が同じ測定環境になるように配慮して試験を行う。試験を 2 回繰り返し、2 回の試験結果の差異が一定であることを確認する。
- (d) 試験結果(測定値)、不良率、不良状況を常に監視し生産ラインの健全性を維持する。不良判定時は、対比した側をその場で合格とせず、後に再試験を行い確認する。

**正答 (d)**

試験体同士を対比させる試験のポイントは、不良発生時に対比側の試験体漏れ有無を見極める事にある。不良側の漏れが大きい場合、対比側の漏れが見えなくなる可能性がある。試験圧を高くしても両試験体共に漏れが大きくなり、かつ合否閾(しきい)値も大きくなるので判定は変わらない。また、試験を単に 2 回繰り返し再現性を確認しても、対比側の試験体の漏れ有無は判断できない。その為、対比側試験体はその場で合格とせずに試験の残留する影響(クランプによる変形、排気による断熱圧縮、仮想リークなど)を排除するために十分なインターバルを設けて再試験を行い確認する。よって、正答は (d) となる。