

## PT・PDレベル2 一次一般試験問題のポイント

PT・PD レベル2 の新規一次試験については、これまで一般問題と専門問題について相対的に正答率の低い問題と類似の例題を選んで何回か本欄で解説を行ってきた。

今回は、基本的に理解してほしい一般問題の例題について解説する。一般問題は浸透探傷試験の一般的知識(原理、各探傷方法の特徴や各操作手順の内容等を含む)について出題される。正しいもの又は誤っているものを四者択一で選ぶ形式であり、30問以上が出題される。

**問1** 管端が開放した細い管に浸透液が上昇する場合の液面の高さ( $h$ )は、次のどれに反比例するか。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 温度 ( $K$ )                      (b) 表面張力 ( $\Gamma$ )  
(c) 浸透液の密度 ( $\rho$ )            (d) 浸透速度 ( $t$ )

**正答 (c)**

浸透液が毛細管を上昇するときの高さ( $h$ )は、次式で表される。

$$h = 2\Gamma \cos \theta / r \rho g$$

ここで、 $\Gamma$ : 表面張力、 $\theta$ : 浸透液と管の接触角、 $r$ : 管の半径、 $\rho$ : 浸透液の密度、 $g$ : 重力加速度である。

この問題は、この式を理解していれば簡単に解ける問題である。しかし、実際にはこの種の問題の正答率はあまり高くない。この式より、浸透液が毛細管を上昇するときの高さ $h$ は表面張力 $\Gamma$ と $\cos \theta$ に比例し、管の半径 $r$ と浸透液の密度 $\rho$ に反比例することが分かる。したがって、正答は(c)となる。

**問2** 次の文のうち、正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 浸透探傷試験は、固体と気体の間に生ずる表面の現象だけを利用した探傷法である。  
(b) 浸透探傷試験は、浸透液と除去液あるいは浸透液と現像剤といった液体同士の界面での化学反応を利用した探傷法である。  
(c) 水洗性浸透探傷試験は、浸透液の浸透現象と、水スプレーで浸透液が起こす乳化現象を利用した探傷法である。  
(d) 後乳化性浸透探傷試験は、浸透液の浸透現象と、乳化剤が乳化処理の際に起こす乳化現象を利用した探傷法である。

**正答 (c)**

浸透探傷試験は、固体、液体及び気体の間に生ずる界面現象を利用したものであり、(a)は誤っている。ぬれ、浸透、毛細管などの現象は、物理現象であり、浸透探傷試験はこれらの現象を利用しており、(b)も誤っている。乳化現象は水洗性浸透液が洗浄の際に水スプレーされたときにも起こる。したがって、(c)は正しい。(d)の乳化処理とは試験体表面の余剰浸透液に乳化剤を適用することであり、この時には浸透液と乳化剤が混じり合うだけであり、乳化現象は起こっていないので誤りとなる。乳化処理と乳化現象を混同しないように注意が必要である。

**問3** 次の項目は、浸透探傷試験の適用対象について記したものである。正しいものの組合せを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 後乳化性蛍光浸透探傷試験  
— 大形部品や構造物を部分的に探傷する場合  
(b) 溶剤除去性蛍光浸透探傷試験  
— 小形量産部品、ねじやキー溝など鋭角な隅部  
(c) 水洗性染色浸透探傷試験  
— 粗い面の試験品  
(d) 溶剤除去性染色浸透探傷試験  
— 疲労割れ、研削割れなど幅が非常に狭く微細な割れ

**正答 (c)**

大形部品や構造物を部分的に探傷する場合に適応できる探傷方法は溶剤除去性浸透探傷試験であり、(a)は誤っている。

小形量産部品、ねじやキー溝など鋭角な隅部には水洗性蛍光浸透探傷試験が適している。従って(b)も誤っている。粗い面の試験品には水洗性浸透探傷試験が適しており、(c)は正しい。(d)の幅が非常に狭く微細な割れには後乳化性又は溶剤除去性蛍光浸透探傷試験が適しており、これも誤っている。

**問4** 浸透液の性質として誤っているものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 水洗性蛍光浸透液は、溶剤で除去処理することができる。  
(b) 後乳化性蛍光浸透液は、溶剤で除去処理することができる。

- (c) 水洗性染色浸透液は、微細なきずの検出に適していない。
- (d) 水洗性蛍光浸透液は、一般的に不燃性の浸透液である。

**正答 (d)**

一般に、浸透液の主成分は浸透性の強い溶剤であり、水洗性浸透液は、あらかじめ界面活性剤が添加されており、水で洗浄できる性質を持たせたものである。界面活性剤が添加された浸透液は溶剤でも除去処理ができる。したがって、(a)は正しい。また、溶剤は界面活性剤が添加されていても可燃性があるため、(d)は誤っている。溶剤除去性浸透液と後乳化性浸透液は一般に同じ性質のものが使用されており溶剤で除去する場合が溶剤除去性浸透探傷試験、乳化剤を適用して水で洗浄する場合を後乳化性浸透探傷試験と区別している。したがって、後乳化性浸透液も溶剤で除去処理することができるので、(b)は正しい。水洗性染色浸透液は過洗浄になりやすく、また、識別性も蛍光より劣るため、微細なきずの検出には適していない。(c)も正しい。

**問 5 次の文は、洗浄処理または除去処理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) 蛍光浸透探傷試験においてブラックライトを照射しながら洗浄するのは、きずの位置をあらかじめ見つけておくためである。
- (b) 水洗性浸透探傷試験における水洗浄は、通常スプレーで洗い流すため最も過洗浄になりにくい方法である。
- (c) 溶剤除去性浸透探傷試験における除去処理は、除去液をウエスに多量にふくませて拭き取る必要がある。
- (d) 洗浄処理とは試験体表面の余剰浸透液を水のスプレーにより除去する処理である。

**正答 (d)**

ブラックライトを照射しながら洗浄するのは、きずの位置をあらかじめ見つけておくためではなく、洗浄の程度を確認するためであり、(a)は誤っている。水洗性浸透探傷試験は洗浄性がよいため、過洗浄になりやすい方法であり、(b)は誤っている。溶剤除去性浸透探傷試験における除去処理は、除去液をウエスに少量にふくませて拭き取るが必要であり、(c)は誤りである。洗浄

処理とは余剰浸透液をスプレーにより除去する処理のことをいい、(d)は正しい。

**問 6 乾式、湿式、及び速乾式現像法の特徴として正しいものを一つ選び記号で答えよ。**

- (a) 乾式現像法は蛍光及び染色浸透探傷試験に適用できるが、指示模様が経時変化するのが欠点である。
- (b) 乾式現像法は、適用した現像剤を乾燥させる必要があり、処理工程が面倒であるのが欠点である。
- (c) 湿式現像法は火気の危険性のないのが特徴であるが、他の現像法と比較すると使用中の濃度管理が必要なことが欠点である。
- (d) 速乾式現像法は簡単に適用できるのが特徴であるが、きずの検出性が他の現像法より劣ることが欠点である。

**正答 (c)**

それぞれの現像方法の特徴については何度も解説しているので、よく勉強してほしい。染色探傷試験に乾式現像法は適用できないので、(a)は誤っている。乾式現像法は試験体を乾燥した後に乾いた現像剤を適用する方法であり、(b)も誤っている。湿式現像剤は使用中に現像剤濃度が変化するため濃度管理が必要となる。そのため、(c)は正しい。また、濃度管理は浮秤式比重計を用いて測定することも併せて覚えておくことよい。速乾式現像法は比較的緻密な現像剤塗膜を作製することができる現像方法であり、湿式現像法や無現像法に比べきずの識別性は劣ることはないので、(d)は誤っている。

以上これまで出題されてきた問題の傾向を基に PT2、PD2 に関する一般問題を解説してきた。

これからレベル 2 の資格を取得しようとする方は、本解説及び前回の解説を参考にして浸透探傷試験 I 及び II、実技参考書、問題集等の内容をよく学習し、一次試験を突破されんことを切に望むものである。

**\*お知らせ\***

浸透探傷試験レベル 2 の二次試験において、溶剤除去性浸透探傷試験の試験体形状の変更を今年の秋の試験から予定しています。詳細は 7 月下旬頃の協会ホームページに掲載予定ですので、そちらを参照ください。

### SMLレベル3 二次C<sub>1</sub>（基礎）試験のポイント

ひずみ測定技術者レベル3資格試験の二次試験はC<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>の3項目からなる筆記試験である。

この内のC<sub>1</sub>は基礎試験、C<sub>2</sub>は専門試験、C<sub>3</sub>はひずみ測定の手順書作成に関する試験であり、C<sub>1</sub>及びC<sub>2</sub>の問題は四者択一の形式であるがC<sub>3</sub>は記述式である。

ここでは、特にC<sub>1</sub>の基礎試験で出題されたものと類似の形式及び内容の問題例を取り上げ、解答に当たってのポイントを簡単に解説をする。この基礎試験では応力・ひずみの測定に関する基礎知識として、各種測定法の原理や特徴についての知識、構造物や材料の静的強度、疲労強度、破壊力学についての知識に関する問題並びに認証システムに関する問題が30問出題される。

#### 二次C<sub>1</sub>試験の類似問題例

〈問題1〉 円孔などのある部材が力を受けると、この孔縁で応力集中が生じる。光弾性実験法はこのような場合の応力集中を調べるのに有効な方法である。特にこの方法で観察される等色線しま模様は、しま回数 $n$ が主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_2)$ と以下のような関係になる。

$$n = \alpha t (\sigma_1 - \sigma_2)$$

ここで、 $\alpha$ は光弾性感度、 $t$ は試験片の厚さである。

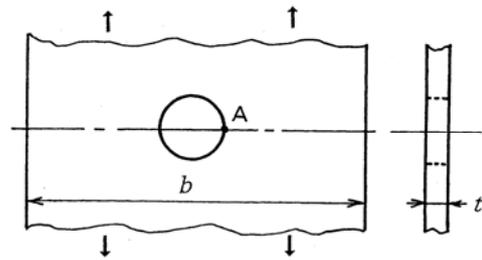
問1 実験に使う試験片材料の光弾性感度 $\alpha$ を求めるために厚さ $t$ が4mmの試験片の引張試験をした。2次のしま回数 $n$ のときの引張応力が9.8MPaであった。この材料の $\alpha$ の値を次のうちから選び、記号で答えよ。

- (a) 0.05 mm/N      (b) 0.08 mm/N  
(c) 0.10 mm/N      (d) 0.15 mm/N

問2 以下の記述は円孔などのある部材の孔縁のような自由境界の応力状態についての記述である。このうちから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応力だけが主応力になる。  
(b) 自由境界では応力とひずみが比例しなくなる。  
(c) 自由境界では接線方向と法線方向の応力が生じる。  
(d) 自由境界では接線方向の主応力だけが存在する。

問3 問1の材料による、厚さ $t$ が4mmの帯板試験片で図の矢印方向に負荷された引張試験をして等色線しま模様を観察した。この図の孔縁のA点におけるしま回数を測定したところ4.5次であった。このときのA点における主応力を次のうちから選び、記号で答えよ。



- (a) 11.3MPa      (b) 19.6MPa  
(c) 22.5MPa      (d) 45.0MPa

問4 問3の円孔がある試験片は幅 $b$ が70mmであり、孔縁A点におけるしま回数が4.5次のときの引張荷重が1.96kNであった。孔から離れた場所の平均引張応力を基にしたときの、A点における応力集中係数を次のうちから選び、記号で答えよ。

- (a) 2.3      (b) 3.2      (c) 4.5      (d) 7.0

正答 問1 (a)、問2 (d)、問3 (c)、問4 (b)

光弾性実験法では、荷重を受けた透明な材料の相似模型に偏光を透過したとき、複屈折現象で観察される等色線しま模様が主応力の差に関係することで応力が求められる。しかし、応力の値を求めるためには、まず主応力に対するしま回数が既知の試験をして使用した材料の光弾性感度 $\alpha$ を知る必要がある。ここでは、 $\sigma_2 = 0$ になる引張試験により $\alpha$ を求めていて、 $\sigma_1$ が9.8MPaに対するしま回数 $n$ が2であるから、

$$\alpha = n / t \sigma_1 = 2 / 4 \times 9.8 = 0.05 \text{ mm/N}$$

になる。なお、光弾性実験法では等色線しまが主応力差に関係しているので、試験片全面での個々の主応力は容易に求められない。しかし、自由境界では法線方向の応力 $\sigma_2$ がないので、主応力は接線方向の $\sigma_1$ のみになる。したがって、 $n$ が4.5次の場合の $\sigma_1$ を求めると、

$$\sigma_1 = n / \alpha t = 4.5 / 0.05 \times 4 = 22.5 \text{ MPa}$$

になる。さらに、荷重 $W$ が1.96kNのときの孔から離れた場所の平均引張応力 $\sigma$ は試験片の断面積 $A$ とすると、

$$\sigma = W / A = 1.96 \times 10^3 / 4 \times 70 = 7.0 \text{ MPa}$$

になり、A点における応力集中係数 $\beta$ は、

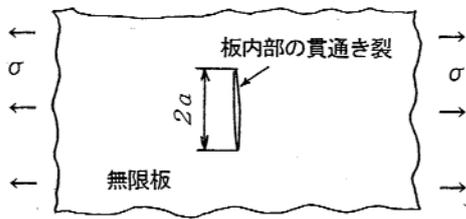
$$\beta = \sigma_1 / \sigma = 22.5 / 7.0 = 3.2$$

になる。

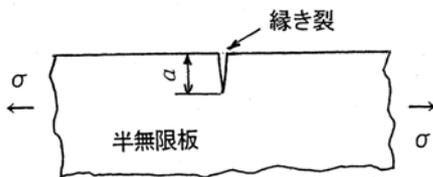
〈問題2〉 非破壊試験法でき裂が検出された構造部材の安全性の評価に破壊力学が適用されている。例えば、図のような内部に長さ $2a$ の貫通き裂のある無限板が応力 $\sigma$ を受けたときのモードIの応力拡大係数 $K_I$ は、線

形破壊力学により次の式で与えられている。

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a}$$



問 5 無限板の場合に対して、下図のような長さ  $a$  の縁き裂のある半無限板と見なせる場合のモード I の応力拡大係数  $K_I$  はどのようになるか。次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。



- (a) 12%大きくなる。 (b) 13%小さくなる。  
 (c) 21%小さくなる。 (d) 25%大きくなる。

問 6 磁粉探傷試験法により、半無限板と見なすことのできる鋼板に長さ 3.2mm の縁き裂が検出された。これが 100MPa の引張応力を受けたときの応力拡大係数  $K_I$  を次のうちから選び、記号で答えよ。

- (a)  $25.2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  (b)  $21.4 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$   
 (c)  $11.2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  (d)  $10.0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

問 7 問 6 の鋼板の破壊じん性値  $K_{Ic}$  は  $47.4 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  であった。この鋼板が 200MPa の引張繰り返し応力を受けたとき、理想的な状態で不安定破壊をするのに必要な限界き裂長さを次のうちから選び、記号で答えよ。

- (a) 4.47mm (b) 6.73mm  
 (c) 10.6mm (d) 14.3mm

問 8 応力拡大係数は実験的な方法でも求められている。例えば、き裂先端に入射した光の光路変化で生じる影像を観察して求める方法がある。この記述に該当する方法を次のうちから選び、記号で答えよ。

- (a) モアレ法 (b) コースティックス法  
 (c) ホログラフィ法 (d) サーモグラフィ法

正答 問 5 (a), 問 6 (c), 問 7 (d), 問 8 (b)

長さ  $a$  の縁き裂のある半無限板のモード I の応力拡大係数は、板内部にき裂長さ  $2a$  の貫通き裂がある無限板

の場合よりも 12%大きくなる。したがって、検出されたき裂長さが 3.2mm で 100MPa の応力を受けている半無限板の応力拡大係数は、

$$K_I = 1.12 \sigma\sqrt{\pi a} = 1.12 \times 100 \times \sqrt{3.14 \times 3.2 \times 10^{-3}} \\ = 11.2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

になる。この半無限板の  $K_I$  が破壊じん性値  $K_{Ic}$  に達したときに理想的な状態の不安定破壊をするとされているので、200MPa の応力を受けた場合には

$$1.12 \times 200 \times \sqrt{3.14 a} = 47.4 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

になり、これから

$$a = (47.4 / 1.12 \times 200)^2 / 3.14 = 0.01426 \text{ m}$$

になる。また、光路変化による影像を観察するコースティックス法は、実験的に応力拡大係数を求めるための有効な方法として応用されている。

〈問題 3〉構造物の拘束された部分が局部的に加熱されると熱応力が生じる。特に溶接部分などではこれが残留応力になる。

問 9 両端が固定された、縦弾性定数  $E$  が 210GPa、線膨張係数  $\beta$  が  $13 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  の棒材が 200°C まで加熱された。このときの熱応力を次のうちから選び、記号で答えよ。

- (a) +546 MPa (b) -546 MPa  
 (c) +710 MPa (d) -710 MPa

問 10 溶接部分などの残留応力の測定には種々の方法が応用されている。次のうち非破壊的とは言えない測定法を選び、記号で答えよ。

- (a) 音弾性法 (b) X線応力測定法  
 (c) 電気抵抗ひずみ測定法 (d) 磁気ひずみ測定法

正答 問 9 (b), 問 10 (c)

線膨張係数  $\beta$  の棒材が  $T^\circ\text{C}$  加熱されたときの熱ひずみを  $\varepsilon$  とすると、問 9 の場合は

$$\varepsilon = \beta T = 13 \times 10^{-6} \times 200 = 2.6 \times 10^{-3}$$

になる。これが拘束されて生じる応力を  $\sigma$  とすると、

$$\sigma = E\varepsilon = 210 \times 10^9 \times 2.6 \times 10^{-3} = 546 \times 10^6 \text{ Pa}$$

になる。しかし、この場合は圧縮応力になるので負 (-) の値となり、したがって -546 MPa になる。

また、問 10 に示されているような残留応力の測定法があるが、このうちの電気抵抗ひずみ測定法は切り取りや穴あけで解放される応力を測定する方法なので、非破壊的であるとは言えない。