

【60 卷 2 月号掲載記事に関する訂正】

2011年2月号に掲載した下記の記事に訂正がありました。お詫びして訂正致します。(2013年8月)
なお訂正箇所は本記事の1頁左下に記載してあります。3頁目、4頁目は修正済みの記事です。

E T レベル 3 二次 C₂ (適用) 試験のポイント

非破壊試験技術者レベル 3 二次の C₂ 試験は渦電流探傷試験に関連した専門知識を問うための問題が出題される。レベル 3 受験者の正答率は比較的高いが、一部の問題で若干誤答が多いものが見受けられる。ここでは最近の試験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、貫通コイルを用いた渦電流探傷試験において、伝熱管の材質と適用する試験周波数との関係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。ただし管の外径、管肉厚は同一とする。

- (a) 高合金鋼管の最適試験周波数は、黄銅管に用いる周波数よりも高く、銅管に用いる周波数よりも低い方がよい。
- (b) チタニウム管に用いる試験周波数は、黄銅管に用いる周波数よりも高く、オーステナイト系ステンレス鋼管に用いる周波数よりも 10 倍程度高い方がよい。
- (c) オーステナイト系ステンレス鋼管の最適試験周波数は、黄銅管に用いる周波数よりも高く、チタニウム管に用いる周波数に近似の値がよい。
- (d) 試験周波数は伝熱管の寸法で決まり、材質にはよらない。

正答 (c)

試験体の抵抗率が低くなると、表皮深さを一定とするために、試験周波数は抵抗率に**反比例して比例して高く**することはすぐに理解できるであろう。そのため、この問題は材質の抵抗率(導電率)の知識を問う問題である。受験者は関連する分野の試験体の材質についてはよく知っていると思うが、JSNDI の資格試験がマルチセクタであることから、他の分野の材質についても代表的なものを知っておく必要があるだろう。正確な値は憶えなくとも、大小関係と概略値を頭にいれておけば解答はスムーズになるはずである。

表 1. 純金属の抵抗率(常温時, 単位: $\times 10^{-8} \Omega \text{m}$)

純金属	抵抗率
銅	1. 7 2
アルミニウム	2. 7 5
鉄	9. 8
チタン	5 8

青文字の二重取消線の部分を
赤文字に訂正します。

表 1 に純金属、表 2 に合金の概略の抵抗率を記しているのので参考にしてほしい。

なお、銅の場合は磁性があるが貫通コイルでの渦電流探傷試験では磁気飽和コイルが用いられるため、比透磁率の値は $\mu_r = 1$ として考えることができる。

表 2. 合金の抵抗率(常温時, 単位: $\times 10^{-8} \Omega \text{m}$)

合金		抵抗率
銅合金	リン青銅(Cu-Sn)	2 ~ 6
	黄銅(Cu-Zn)	5 ~ 7
アルミニウム合金	7075-T6	5. 3
鋼	炭素鋼	1 3 ~ 2 0
	合金鋼	2 0 ~ 4 3
	高合金鋼	4 2 ~ 8 5
ステンレス鋼	マルテンサイト系	5 5 ~ 6 0
	フェライト系	6 0
	オーステナイト系	7 2 ~ 7 8
チタン合金	Ti-6Al-4V	1 7 2

問 2 丸棒の特性周波数から推定される適正な試験周波数について記述してある。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 丸棒の外径の 2 乗と導電率に逆比例する。
- (b) 抵抗率および丸棒の外径に逆比例する。
- (c) 丸棒の外径に逆比例し、導電率に比例する。
- (d) 丸棒の外径に逆比例する。

正答 (a)

この問題は特性周波数の式を知っていれば簡単に解ける。丸棒の外径を b とした場合、特性周波数 f_c は下記の式で与えられる。

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sigma b^2}$$

単純な式であるが、渦電流探傷では憶えるべき式も多くて思い出せない場合もあるだろう。このときは表皮深さの式を変形すれば同じ構成の式が導出できることを記憶しておくといよい。表皮深さの式を周波数 f で整理すると次のようになる。

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu \sigma}} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{\pi \sigma \mu \delta^2}$$

表皮深さの式

周波数で整理

右式で b と δ の違いはあるが、どちらも寸法(長さ)の次元をもつ量である。これより特性周波数は導電率と透

磁率に反比例し、また寸法の2乗に反比例することが導き出される。これがわかれば、設問の中から正しい答えを容易に選択することができるはずである。

問3 JIS H 0502 銅及び銅合金の渦流探傷試験方法に規定されている人工きずはどれか。次の中から一つ選び記号で答えよ。

- (a) ドリル穴
- (b) ドリル穴と角溝
- (c) ドリル穴と角溝とやすり溝
- (d) 円周やすり溝

正答 (a)

これは規格であるので、憶えるほかにはないのだが、各々の規格の内容を個別に記憶するのは大変である。表3には渦電流探傷の主要な規格とそこで規定されている人工きずを列挙した。ドリル孔と角溝が主要な人工きずであり、JIS H 0502は角溝の規定がなく、JIS G 0583ではやすり溝が追加されている。このように整理しておけば覚えやすいであろう。

表3 渦電流探傷規格と規定されている人工きず

JIS	名称	ドリル孔	角溝	やすり溝
H 0502	銅及び銅合金管のか(渦)流探傷試験方法	○	—	—
H 0515	チタン管の渦流探傷検査方法	○	○	—
G 0568	鋼の貫通コイル法による渦流探傷試験方法	○	○	—
G 0583	鋼管の貫通コイル法による渦流探傷検査方法	○	○	○

○：規定有り —：規定なし

問4 銅合金管の製造工場において貫通コイルを用いた渦電流探傷試験で、もっとも広く用いられている位相の設定方法は次のうちのどれか。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 表示器上で貫通きずによる信号が45°になるように位相を設定する。
- (b) 表示器上でリングきずが135°になるように位相を設定する。
- (c) 記録計上でSN比が最大になる位相を設定する。

(d) 記録計上できず信号が最大になる位相を設定する。

正答 (c)

これが正答率がさほど高くないのは意外である。おそらく内挿コイルを主体とした配管の保守検査に携わる受験者が、「位相設定は貫通孔を135°に合わせる」ということを条件反射的に解答されていることが原因と思われる。そのため(a)(b)を選択することが考えられるが間違いである。貫通コイル法では基本はS/Nが最大となる設定が行われるので、早とちりしないように。正解は(c)である。なお(d)では人工きずの指示とガタノイズの位相差が小さい場合は結果的にそうなる場合もあるが通常はS/Nが低くなる場合が多く適用されない。

問5 薄肉厚の非磁性管用特性周波数 f_c は、下式で与えられる。

$$f_c = \frac{2}{\pi \sigma \mu t (b - 2t)}$$

ここで、 σ :試験体の導電率[S/m]、 μ :試験体の透磁率[H/m]、 t :試験体の肉厚[m]、 b :試験体の外径[m]である。外径25.4mm、肉厚1.27mmのアルミニウム管を対象に、貫通コイルを用いた渦電流探傷試験を実施したところ、 f/f_c が3となる周波数 f が最適周波数であった。この時、外径16.0mm、肉厚1.0mmの同材質の管を対象とした場合の最適周波数を f' とすると、どれが正しいと考えられるか。次の中から一つ選び記号で答えよ。

- (a) $f' < f_c$
- (b) $f' > f$
- (c) $f' < f$
- (d) $f' = f$

正答 (b)

単純な計算問題である。上記の問題では外径、肉厚とも小さくなっていることから f_c は大きくなる。したがって元のサイズの最適周波数 f に比べて f' が大きくなることになるので、正解は(b)である。落ち着いて考えれば難しい問題ではない。

以上、正答率の低い問題について解説を行った。憶えることも多いが関連した項目と合わせると覚えやすい。また計算式に関連する問題も既知の式から導出可能な場合もあり、落ち着いて考えれば難しくないのである。試験にはリラックスして臨んでほしい。

E T レベル 3 二次 C₂ (適用) 試験のポイント

非破壊試験技術者レベル 3 二次の C₂ 試験は渦電流探傷試験に関連した専門知識を問うための問題が出題される。レベル 3 受験者の正答率は比較的高いが、一部の問題で若干誤答が多いものが見受けられる。ここでは最近の試験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、貫通コイルを用いた渦電流探傷試験において、伝熱管の材質と適用する試験周波数との関係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。ただし管の外径、管肉厚は同一とする。

- (a) 高合金鋼管の最適試験周波数は、黄銅管に用いる周波数よりも高く、銅管に用いる周波数よりも低い方がよい。
- (b) チタニウム管に用いる試験周波数は、黄銅管に用いる周波数よりも高く、オーステナイト系ステンレス鋼管に用いる周波数よりも 10 倍程度高い方がよい。
- (c) オーステナイト系ステンレス鋼管の最適試験周波数は、黄銅管に用いる周波数よりも高く、チタニウム管に用いる周波数に近似の値がよい。
- (d) 試験周波数は伝熱管の寸法で決まり、材質にはよらない。

正答 (c)

試験体の抵抗率が低くなると、表皮深さを一定とするために、試験周波数は抵抗率に比例して高くすることはすぐに理解できるであろう。そのため、この問題は材質の抵抗率(導電率)の知識を問う問題である。受験者は関連する分野の試験体の材質についてはよく知っていると思うが、JSNDI の資格試験がマルチセクタであることから、他の分野の材質についても代表的なものを知っておく必要があるだろう。正確な値は憶えなくとも、大小関係と概略値を頭にいれておけば解答はスムーズになるはずである。

表 1. 純金属の抵抗率(常温時, 単位: $\times 10^{-8} \Omega m$)

純金属	抵抗率
銅	1. 7 2
アルミニウム	2. 7 5
鉄	9. 8
チタン	5 8

表 1 に純金属、表 2 に合金の概略の抵抗率を記しているので参考にしてほしい。

なお、銅の場合は磁性があるが貫通コイルでの渦電流探傷試験では磁気飽和コイルが用いられるため、比透磁率の値は $\mu_r = 1$ として考えることができる。

表 2. 合金の抵抗率(常温時, 単位: $\times 10^{-8} \Omega m$)

合金	抵抗率	
銅合金	リン青銅(Cu-Sn)	2 ~ 6
	黄銅(Cu-Zn)	5 ~ 7
アルミニウム合金	7075-T6	5. 3
鋼	炭素鋼	1 3 ~ 2 0
	合金鋼	2 0 ~ 4 3
	高合金鋼	4 2 ~ 8 5
ステンレス鋼	マルテンサイト系	5 5 ~ 6 0
	フェライト系	6 0
	オーステナイト系	7 2 ~ 7 8
チタン合金	Ti-6Al-4V	1 7 2

問 2 丸棒の特性周波数から推定される適正な試験周波数について記述してある。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 丸棒の外径の 2 乗と導電率に逆比例する。
- (b) 抵抗率および丸棒の外径に逆比例する。
- (c) 丸棒の外径に逆比例し、導電率に比例する。
- (d) 丸棒の外径に逆比例する。

正答 (a)

この問題は特性周波数の式を知っていれば簡単に解ける。丸棒の外径を b とした場合、特性周波数 f_c は下記の式で与えられる。

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sigma\mu b^2}$$

単純な式であるが、渦電流探傷では憶えるべき式も多くて思い出せない場合もあるだろう。このときは表皮深さの式を変形すれば同じ構成の式が導出できることを記憶しておくといよい。表皮深さの式を周波数 f で整理すると次のようになる。

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu \sigma}} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{\pi \sigma \mu \delta^2}$$

表皮深さの式

周波数で整理

右式で b と δ の違いはあるが、どちらも寸法(長さ)の次元をもつ量である。これより特性周波数は導電率と透

磁率に反比例し、また寸法の2乗に反比例することが導き出される。これがわかれば、設問の中から正しい答えを容易に選択することができるはずである。

問3 JIS H 0502 銅及び銅合金の渦流探傷試験方法に規定されている人工きずはどれか。次の中から一つ選び記号で答えよ。

- (a) ドリル穴
- (b) ドリル穴と角溝
- (c) ドリル穴と角溝とやすり溝
- (d) 円周やすり溝

正答 (a)

これは規格であるので、憶えるほかにはないのだが、各々の規格の内容を個別に記憶するのは大変である。表3には渦電流探傷の主要な規格とそこで規定されている人工きずを列挙した。ドリル孔と角溝が主要な人工きずであり、JIS H 0502は角溝の規定がなく、JIS G 0583ではやすり溝が追加されている。このように整理しておけば覚えやすいであろう。

表3 渦電流探傷規格と規定されている人工きず

JIS	名称	ドリル孔	角溝	やすり溝
H 0502	銅及び銅合金管のか(渦)流探傷試験方法	○	—	—
H 0515	チタン管の渦流探傷検査方法	○	○	—
G 0568	鋼の貫通コイル法による渦流探傷試験方法	○	○	—
G 0583	鋼管の貫通コイル法による渦流探傷検査方法	○	○	○

○：規定有り —：規定なし

問4 銅合金管の製造工場において貫通コイルを用いた渦電流探傷試験で、もっとも広く用いられている位相の設定方法は次のうちのどれか。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 表示器上で貫通きずによる信号が45°になるように位相を設定する。
- (b) 表示器上でリングきずが135°になるように位相を設定する。
- (c) 記録計上でSN比が最大になる位相を設定する。

(d) 記録計上できず信号が最大になる位相を設定する。

正答 (c)

これが正答率がさほど高くないのは意外である。おそらく内挿コイルを主体とした配管の保守検査に携わる受験者が、「位相設定は貫通孔を135°に合わせる」ということを条件反射的に解答されていることが原因と思われる。そのため(a)(b)を選択することが考えられるが間違いである。貫通コイル法では基本はS/Nが最大となる設定が行われるので、早とちりしないように。正解は(c)である。なお(d)では人工きずの指示とガタノイズの位相差が小さい場合は結果的にそうなる場合もあるが通常はS/Nが低くなる場合が多く適用されない。

問5 薄肉厚の非磁性管用特性周波数 f_c は、下式で与えられる。

$$f_c = \frac{2}{\pi \sigma \mu t (b - 2t)}$$

ここで、 σ :試験体の導電率[S/m]、 μ :試験体の透磁率[H/m]、 t :試験体の肉厚[m]、 b :試験体の外径[m]である。外径25.4mm、肉厚1.27mmのアルミニウム管を対象に、貫通コイルを用いた渦電流探傷試験を実施したところ、 f/f_c が3となる周波数 f が最適周波数であった。この時、外径16.0mm、肉厚1.0mmの同材質の管を対象とした場合の最適周波数を f' とすると、どれが正しいと考えられるか。次の中から一つ選び記号で答えよ。

- (a) $f' < f_c$
- (b) $f' > f$
- (c) $f' < f$
- (d) $f' = f$

正答 (b)

単純な計算問題である。上記の問題では外径、肉厚とも小さくなっていることから f_c は大きくなる。したがって元のサイズの最適周波数 f に比べて f' が大きくなることになるので、正解は(b)である。落ち着いて考えれば難しい問題ではない。

以上、正答率の低い問題について解説を行った。憶えることも多いが関連した項目と合わせると覚えやすい。また計算式に関連する問題も既知の式から導出可能な場合もあり、落ち着いて考えれば難しくないのである。試験にはリラックスして臨んでほしい。

RTレベル2 一次一般試験問題のポイント

2005年9月号及び2008年11月号の本欄でRTレベル2の新規一次試験の一般試験について、問題例をあげてそのポイントについて紹介した。一般問題は40問で四者択一により、正しいもの、又は誤ってるものを選ぶ形式で、専門問題と共にそれぞれ70%以上の得点で合格となる。

今回も最近の試験で正答率の低い問題と、注意して欲しい問題の類題について解説を行って、受験者の参考にも供したい。

問1 次の文中の〔1〕及び〔2〕に入れる適切な語句を解答群よりそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

^{60}Co を購入してから2年半経過した。同一試験体を同一条件で同一濃度の透過写真を撮影するとした場合、 ^{60}Co の半減期は約〔1〕年であることから、露出時間は〔2〕倍となる。

[解答群]

〔1〕

(a) 1.4 (b) 2.7 (c) 5.3 (d) 7.3

〔2〕

(a) 1.4 (b) 2.7 (c) 5.3 (d) 7.3

正答 〔1〕 (c), 〔2〕 (a)

ガンマ線源を使用した放射線透過試験についての問題である。現在、透過試験に使用されているガンマ線源は ^{60}Co 、 ^{192}Ir 、 ^{169}Yb であり、それぞれの線源の半減期は記憶しておいて欲しい。 ^{60}Co は5.3年、 ^{192}Ir は74日、 ^{169}Yb は32日である。したがって、〔1〕は(c)が正答である。次に露出時間は、種々の条件が同一であるから、放射能の強さが2年半の経過時間で減弱した分を増してやる必要がある。 t 年後の放射能の強さを R 、最初の放射能の強さを R_0 、半減期を T とすると、次式が与えられる。

$$R=R_0(1/2)^{t/T},$$

$$R/R_0=(1/2)^{2.5/5.3}=0.72,$$

0.72の逆数は1.38であるから、〔2〕は(a)が正答である。

問2 次の文のうち正しいものを一つ選び、記号で答えよ。〔3〕

鋼板の突合せ溶接継手の放射線透過試験を行う場合、適切な線源の選択として、

(a) 母材の厚さが15mm程度のときには、 ^{60}Co を使用するとよい。

(b) 母材の厚さが20mm程度のときには、軟X線装置を使用するとよい。

(c) 母材の厚さが5mm程度のときには、 ^{192}Ir を使用するとよい。

(d) 母材の厚さが10mm程度のときには、 ^{169}Yb を使用するとよい。

正答 〔3〕 (d)

放射線透過試験を行う場合、試験体の材質及び厚さによって適切な線源の選択が必要である。鋼板の溶接継手が試験体の場合には、300kV以下のX線装置が母材の厚さ40mm程度以下で使用される。(b)の軟X線装置は、ごく薄い鋼板しか適用できず、母材の厚さが20mm程度以下のアルミニウム合金の溶接継手に使用される。ガンマ線源については ^{60}Co は鋼36mm~100mm程度、 ^{192}Ir は15mm~50mm程度、 ^{169}Yb は20mm以下の試験体にそれぞれ適用される。したがって、(a)の15mmは36mm以下であり、(c)の5mmは15mm以下であり、いずれも誤りである。ガンマ線源についての適用できる母材の厚さの範囲は記憶しておく必要がある。

問3 次の文は、放射線透過試験における透過写真のコントラストについて述べたものである。文中の〔4〕~〔8〕に入れる最も適切な語句を解答群からそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

微小なきずの像を明瞭に識別するためには、〔4〕を大きくする必要がある。このためには〔5〕、撮影配置による〔6〕及びX線フィルムの感度係数を考慮した〔7〕の値を大きくし、〔8〕の値を小さくしなければならない。

[解答群]

〔4〕

(a) 散乱比 (b) 透過写真のコントラスト
(c) 透過写真の濃度 (d) 幾何学的補正係数

〔5〕

(a) 散乱比 (b) フィルムコントラスト
(c) 透過写真の濃度 (d) 幾何学的補正係数

[6]

- (a) 散乱比 (b) フィルムコントラスト
(c) 透過写真の濃度 (d) 幾何学的補正係数

[7]

- (a) 散乱比 (b) フィルムコントラスト
(c) 減弱係数 (d) 幾何学的補正係数

[8]

- (a) 散乱比 (b) フィルムコントラスト
(c) 減弱係数 (d) 幾何学的補正係数

正答 [4] (b), [5] (b),
[6] (d), [7] (c), [8] (a)

放射線透過試験において最も重要な因子の一つである透過写真のコントラストについての問題である。透過写真のコントラストを表す式は、RTの受験者にとって基本的なものである。しかし、[5]のフィルムコントラストを(c)の透過写真の濃度にマークした者がかなりいた。フィルムコントラストは記号 γ で示され、一般に使用されているX線フィルムでは、透過写真の濃度 D に比例する関係にはあるが、 ΔD の式では D ではなく γ である。[7]の解答もかなりばらつきを示し、(b)、(d)にマークした者が少なくなかった。もう一度それぞれの因子及び記号をしっかり記憶して欲しい。

問4 次の文中の [9] に入れる適切な数値を一つ選び、記号で答えよ。

露出時間のみを変化させて撮影した濃度 1.80 と 2.40 の2枚の透過写真を同一の観察条件で観察した。このとき、いずれの観察においても透過光以外の光の強さは濃度 1.80 の透過写真を透過した光の強さの半分であった。濃度 D とフィルムコントラスト γ とは、濃度 0.50~3.50 の範囲で正比例の関係にあるものとすれば、濃度 1.80 における透過度計の線に対する見掛けの透過写真のコントラストは、濃度 2.40 において同一直径の線に対する見掛けの透過写真のコントラストの [9] 倍である。

- (a) 1.5 (b) 2.2 (c) 3.7 (d) 4.3

正答 [9] (a)

透過写真の観察における見掛けのコントラストの問題である。透過写真を観察する際に透過光以外の光が眼に入ってくる場合の透過度計の線に対する見掛けのコント

ラスト $\Delta D'$ は、次式により示される。

$$\Delta D' = \Delta D / (1 + n')$$

ここで、 $n' = L'/L$ (L' : 透過光以外の光の強さ、 L : 透過光の強さ)。また、題意によって D と γ とは比例の関係があるので、 $\Delta D' = C \cdot D / (1 + L'/L)$ となる。

ここで C は比例定数である。

この問題と同種の問題が「放射線透過試験問題集」(1999)にあるので、それを参照して頂くとするが、正答率は意外と低い値で、充分理解できていないと思われる。

問5 次の文のうち正しいものを一つ選び、記号で答えよ。 [10]

- (a) 明るい場所での透過写真の観察において、濃度が高い方が、 $1/(1+n')$ は小さくなる。
(b) 明るい場所での透過写真の観察において、濃度が高い方が、 $1/(1+n')$ は大きくなる。
(c) 明るい場所での透過写真の観察において、フィルム観察器の輝度が低い方が $1/(1+n')$ は大きくなる。
(d) 透過写真を観察する場所の明るさは、 $1/(1+n')$ に影響しない。

正答 [10] (a)

前問と同様に透過写真の観察に関する問題である。 $1/(1+n')$ の n' は前問と同じ L'/L であり、 $1/(1+n')$ の値が小さいほど見掛けのコントラストの値は小さくなって、きずの見落としが生じるおそれが起こる。透過写真の濃度が高いほど、観察器の輝度が低いほど、観察場所が明るいほど、見掛けのコントラストの値は小さくなることを、しっかり確認して欲しい。(b)にマークした者がかなりいた。

以上、一般問題から基本的な問題でありながら、勘違いや理解不足から正答が得られていない問題を5問紹介したが、「放射線透過試験 II」及び「放射線透過試験問題集」などを参考にしてよく勉強して頂きたい。