

UT レベル3 二次C₂ (適用) 試験のポイント

UT レベル3 の C₂ (適用) 試験問題は、過去に機関誌 Vol.53 No.8(2004) , Vol.57 No.9(2008) 及び Vol.59 No.12(2010)で紹介した経緯がある。C₂ の分野は NDT 方法の適用、コード及び規格に関する知識を問われるもので再認証試験の一次試験の内容と同等である。今回解説する問題と共に過去の記事も参考にして戴きたい。

問1 次の文は、結晶粒の粗い鍛鋼品の超音波探傷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) 探傷は縦波の代わりに横波を用いる。
- (b) 熱処理によって結晶粒が微細化した後で探傷する。
- (c) 直接接触法を水浸法に変える。
- (d) 振動子直径の小さい探触子を使用する。

正答 (b)

鍛鋼品の超音波探傷は JIS G 0587 で規定されているが、ここでは規格についての問題ではないので、一般的な内容として考える。鍛鋼品の探傷は検出しようとするきずの種類、方向などによって垂直探傷や斜角探傷が併用される。結晶粒が粗い材料の探傷には減衰の小さい波長の長い超音波が利用されるため一般には 2MHz の周波数が採用される。垂直探傷に用いる縦波を横波にすれば波長は短くなり、結晶粒の粗い材料の探傷にはノイズエコーが多くなり探傷は困難になるため、通常横波垂直は用いない。試験体に熱処理工程がある場合には、熱処理を行うことにより結晶粒が微細化され、その後の探傷であれば減衰も小さくなり容易となる。直接接触法を水浸法に変えた場合、表面が粗い場合には音響結合には有効であるが、鍛鋼品の形状によっては必ずしも有効とは限らない。この場合でも試験体中の周波数は変わらないため結晶粒の粗さによる減衰は改善されない。振動子の直径を小さいものに変えた場合も同様に試験体中の周波数に変化はないため超音波の減衰は改善されない。したがって、正答は (b) である。

問2 次の文は、ステンレス鋼管溶接部の超音波探傷について述べたものである。解答欄に最も適切な語句をそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部は柱状晶組織であり、超音波の減衰が大きく、超音波探傷試験の適用は難しい。しかし、保守検査で検出しなければならないきずのうち、[1] は [2] に発生しやすい。そのため、溶接部の [3] から探傷し、[4] 内に超音波を伝搬させないように探傷すれば検出できる。

- [1] (a) 再熱割れ (b) 低温割れ
(c) ラメラテア (d) 応力腐食割れ
- [2] (a) 溶接金属 (b) 溶接熱影響部
(c) 母材偏析部 (d) 溶接きず付近
- [3] (a) 両面 (b) 両側
(c) 45° 方向 (d) ビード上
- [4] (a) 溶接金属 (b) 熱影響部
(c) 母材偏析部 (d) 母材

正答 [1] (d) , [2] (b) , [3] (b) , [4] (a)

フェライト系の鋼は、溶融してから凝固・常温に下がるまでの間にオーステナイト組織からフェライトとセメントタイトの層状組織であるパーライト組織などに変態するため、結晶組織は微細な組織となるが、オーステナイト系ステンレス鋼は、凝固・冷却の際、変態せずにオーステナイト組織のまま常温まで冷却するために結晶粒が成長して粗大化する。このため超音波の減衰が大きく探傷しにくい。題意で示しているきずで、保守検査で検出しなければならないきずは応力腐食割れで、この割れは結晶粒が大きく硬さも高く、応力集中しやすい熱影響部(HAZ)に発生しやすい。このため、減衰の大きい溶接金属内を超音波が通過しないように両側からそれぞれ探触子側の HAZ の探傷で検出が容易となる。再熱割れは溶接部を残留応力除去などの目的で加熱した際に生じる割れで、低温割れは溶接後約 200℃以下の比較的低い温度で発生する割れでビード下割れ、ルート割れなどがある。ラメラテアは T 継手など板面と垂直方向との継手がある場合、溶接金属部近傍に板面と平行に割れが発生するもので、鋼板内に非金属介在物が層状に存在する場合に発生する。応力腐食割れは、腐食環境下で持続的な応力が掛かった状態の場合に通常よりも低い応力で発生する。溶接直後には発生せず、運転中に発生し、成長するため、保守検査で特に注意して検出しなければならない。

問3 次の文は、TOFD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) ラテラル波は、横波の底面反射した波である。
- (b) きずの上端部と下端部の波形は、位相が異なる。
- (c) TOFD 法は送受信の 2 個の探触子を用いて透過法で行うため、探傷不能領域は発生しない。
- (d) パルス反射法と比べて、TOFD 探傷法は探傷感度を低く設定する。これは、ノイズ成分を可能な限り低く抑えて、探傷画像の識別性を高めるためである。

正答 (b)

TOFD 法は Time of Flight Diffraction の頭文字をとったもので溶接部など探傷の対象となる部分を挟んで送受の二探触子を用いて指向角が広がる縦波斜角探触子を用い、表面を通過した超音波や、底面で反射した超音波、あるいはきずの端部から発せられた回折波などをとらえ、送信から受信までの時間差でもってきずの高さ寸法を推定する方法である(『超音波探傷試験Ⅲ』では 5.4.3(2)に記載されている)。この表面を伝搬する波をラテラル波と称している。内部に割れなどのきずがある場合、きずの上端、下端からそれぞれ回折波が伝搬するが上端部の回折波と下端部の回折波とは位相が反転する。TOFD 法は二探触子を用いて探傷を行うが、表面直下や裏面近傍は必ずしも探傷が可能ではない部分があり探傷不能領域がないとは言えない。TOFD 法では、ノイズによって探傷図形が阻害されない範囲でできるだけ感度を高くして微小な回折波を受信することにより探傷を行っている。したがって、(b) が正答となる。

問 4 次に示す規格名称及び規格の記号番号について、対応するものを解答群からそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

- (1) 建築用鋼板及び平鋼の超音波探傷試験による等級分類と判定基準 [5]
 - (a) ASTM A435
 - (b) JIS Z 3050
 - (c) JIS G 0901
 - (d) JIS G 0587
- (2) 鋼板の垂直超音波探傷試験仕様 [6]
 - (a) ASTM A435
 - (b) JIS Z 3070
 - (c) AWS D1.1
 - (d) JIS G 0584

(3) JIS Z 3080 [7]

- (a) アルミニウム管溶接部の超音波斜角探傷試験方法
- (b) アルミニウムの T 形溶接部の超音波探傷試験方法
- (c) アルミニウム板の超音波探傷検査方法
- (d) アルミニウムの突合せ溶接部の超音波斜角探傷試験方法

正答 [5] (c), [6] (a), [7] (d)

規格に関する問題は毎回出題されているようであるが必ずしも正答率は高くないようである。国内の超音波探傷に関する JIS 規格及び主要な規格は勿論であるが、海外の規格についても主要な規格について少なくともタイトルと適用範囲については熟知しておく必要がある。問(1)に示されている規格は下記のとおりである。

ASTM A435 : Specification for straight-beam ultrasonic examination of steel plates (鋼板の垂直探傷試験仕様)

JIS Z 3050 : パイプライン溶接部の非破壊試験方法

JIS G 0901 : 建築用鋼板及び平鋼の超音波探傷試験による等級分類と判定基準

JIS G 0587 : 炭素鋼及び低合金鋼鍛鋼品の超音波探傷試験方法及び試験結果の等級分類方法

したがって (c) が正答となる。

また、問(2)の規格は上記を除くと次のようになる。

JIS Z 3070 : 鋼溶接部の超音波自動探傷方法

AWS D1.1 : Structural Welding Code-Steel (構造用溶接規格-鋼)

JIS G 0584 : アーク溶接鋼管の超音波探傷検査方法

したがって、(a) が正答となる。

問(3)は反対に規格記号が示されているが、この JIS Z 3080 は「アルミニウムの突合せ溶接部の超音波斜角探傷試験方法」であり、正答は (d) となる。このほか、

アルミニウム管溶接部の超音波斜角探傷試験方法 : JIS Z 3081

アルミニウムの T 形溶接部の超音波探傷試験方法 : JIS Z 3082

アルミニウム板の超音波探傷検査方法 : 該当規格はない。

今回規格の問題に少しページを割いて紹介したが、非破壊検査技術者の代表としてのレベル 3 にふさわしく海外の規格を含め超音波探傷に関する規格について十分マスターしておくことが必要である。

MT レベル3 二次 C₁ (基礎), C₂ (適用), C₃ (手順書作成) 試験のポイント

NDT フラッシュでは JIS Z 2305:2001 による資格試験について、2012 年に JIS Z 2320-1~3:2007 及び『磁粉探傷試験 I ~ III』の内容に基づき MT レベル3 の C₁, C₂, C₃ 試験のポイントを解説してきた。

今月号では最近の MT レベル3 の C₃ 問題に関する手順書作成のポイント及び解説を中心に、併せてこれに関連した C₁, C₂ の類似問題のポイントを解説する。

1. C₁, C₂ 類似問題のポイント

問1 次の文は、JIS Z 2320-1:2007 の磁化方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) 工程確認方式は、飽和磁束密度が 1.0T 以上の場合、残留法が適用可能である。
- (b) 標準試験片確認方式は、連続法及び残留法に適用可能である。
- (c) 工程確認方式は、湿式法にのみ適用可能である。
- (d) 工程確認方式には磁束貫通法、隣接電流法及び直角通電法が含まれる。

正答 (b)

工程確認方式は透磁率の比較的高い材料を対象として考えられているため、残留法には言及していない。標準試験片確認方式は、連続法及び残留法が使用できる。また両方式共に、湿式法、乾式法が使用できる。直角通電法は標準試験片確認方式のみである。したがって (b) が正しく、他は誤っている。

問2 次の文は、工程確認方式における磁化の確認方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) 一つ又は二つ以上の方法を用いて、試験体表面の磁束密度が磁粉探傷試験に必要な値になっていることを確認する。
- (b) 試験体の最も検出しにくい位置に、微細な人工きずを貼り付けて試験し、磁化の確認を行う。
- (c) 確立された原理に基づいた他の方法、例えばシム試験片を使用して、磁化の確認を行う。
- (d) 中央部に自然きずをもつ試験体を、計算した電流値で試験し、磁化の確認を行う。

正答 (a)

磁粉探傷試験において、試験部位が適切に磁化されていることの確認は重要である。工程確認方式における磁化の確認方法について、JIS 規格では、一つ又は二つ以上の方法を用いて、試験体表面の磁束密度が磁粉探傷試験に必要な値になっていることを確認する。最も検出しにくい位置に、微細な自然きず又は人工きずをもつ試験体を試験し確認する。確立された原理に基づいた他の方法を使用して、磁化の確認を行う。ただし、シムタイプ試験片は磁界の強さの評価には十分でないといわれている。

問3 次の文は、工程確認方式による溶接部の極間法磁粉探傷試験における磁化の確認において、ホール素子を用いたテスラメータによる磁界の測定方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) 試験体表面にできるだけ近接して、表面に平行にプローブの感磁面を配置し、試験体表面の磁束密度が 1T であることを確認する。
- (b) 試験体表面にできるだけ近接して、表面に垂直にプローブの感磁面を配置し、試験体表面の磁束密度が 1T であることを確認する。
- (c) 試験体表面にできるだけ近接して、表面に垂直にプローブの感磁面を配置して試験体表面の磁束密度を測定し、これを換算して試験体表面に平行な方向の磁界の強さが 2000A/m 以上であることを確認する。
- (d) 試験体表面から約 2mm 離れた空間で、表面に垂直にプローブの感磁面を配置し、試験体表面の磁束密度が 2000A/m 以上であることを確認する。

正答 (c)

磁化の確認において、ホール素子を用いたテスラメータによる磁界の測定方法をよく理解しておいて欲しい。測定は、センサプローブを試験体表面にできるだけ接近させて、表面に垂直にプローブの感磁面を配置し、必要な場合はプローブを回転させて最大値を読み取る。テスラメータでは試験体表面(空間)の磁束密度が測定できる。 $B = \mu_0 H$ の式から、試験体表面に平行な方向の磁界の強さ H を計算し、2000A/m 以上であることを確認する。一般の溶接部は低炭素鋼で極間法による磁化では $\mu_r \approx 400$ 程度と考えられるので、試験体表面近傍(内部)の磁束密度は表面の磁界の強さ $H = 2000A/m$ であれば、

$B = \mu_0 \mu_r H$ から $B \approx 1.0T$ となる。すなわち、工程確認方式における試験体表面近傍（内部）の最小の磁束密度 $1T$ は、試験体表面（空間）の磁界の強さ $2000A/m$ 以上を測定することで確認できる。試験体表面（空間）の磁束密度が $1T$ であることを確認するのではないことを理解して欲しい。

2. C₃問題の解答のポイント

C₃問題は手順書作成問題であり、試験時は受験者に JIS Z 2320-1:2007 規格が貸与されるが、その場で規格を読んで理解し手順書の内容に反映することはかなり困難であるので、事前に規格をよく読んでその内容を理解しておくことを勧める。

手順書は、必要な項目と内容を探傷作業に合わせて順序立てて記載する必要がある。受験者の中には、工程確認方式で「試験方法」の項に検出媒体（検査液）の性能点検について記述しても、「試験装置・器材」の項に対比試験片の記載がなかったりする人や、項目を誤って記述している人がいる。参考として、『磁粉探傷試験Ⅲ』6章手順書の作成、及び『磁粉探傷試験Ⅱ』8章仕様書、手順書及び指示書に示された手順書のフォーマットを学習するとよい。

また、手順書では仕様書に示された内容に基づき、対象とするきずを検出するのに適切な検査性能であること、試験体の損傷等の配慮、作業者の安全への配慮、効率、検査コストなどを考慮した試験方法及び試験条件の選定及び内容の記載が重要である。次に、いくつかの項目について注意点を解説する。

1) 「試験装置・器材」

この項目では、試験に使用する装置・器材が管理されているものであるということ、また、各々について要求される性能を仕様として記載する（例：極間式磁化器であれば、磁極間距離、全磁束など、磁化装置であれば整流方式、最大磁化電流、最大通電時間など）。

したがって、普段使用している装置はもちろん、その他のものについてもどのような仕様が適当か検討しておくことよい。また探傷に使用する補助具、検出媒体の性能確認に用いる対比試験片、安全及び試験条件確保のため探傷時に必要と思われる治具等も記載する。

2) 「試験方法」

特に指定されない場合、適切な磁化方法の選定が必要である。対象とする試験体又は試験範囲の大きさ・形状・試験部位・数量・用途、対象とするきずの種類と大きさ、

試験の時期、使用可能な探傷装置などを考慮し、一つ又は二つの適切な磁化方法を選定する。

磁化方法を選定した際、探傷有効範囲の設定が必要な磁化方法、特に極間法においては工程確認方式で、「一回の試験範囲は、両磁極の中心を結ぶ線を中心とする $d \times 0.5d$ (d は両磁極の内側表面の間隔) の長方形の内部であって、磁極表面に隣接する内側 $25mm$ の範囲を除外したもの、又は両磁極の中心を結ぶ線の中央を中心とし、 $0.5d$ を半径とする円の内部であって、各磁極の表面から $25mm$ の範囲を除外したものとする。」とあり、前者は $d \times d$ の $1/2$ の長方形の内側を、後者は d を直径とする円の内側を表わし、いずれも不感帯として磁極周り $25mm$ を除外している（なお、 d は磁極間内法とも表わされる）。前者は、非常に磁界の強さが高い範囲を使用しているので、精密な探傷の場合又は試験面の傾斜があり検査液の流速が速い場合など検査性能が落ちやすい場合の使用が考えられ、後者は、平板の水平突合せ溶接部のように検査液の流速が小さく、検査も下向き姿勢で行えるような比較的広い範囲で検出性能が確保できる場合の使用が考えられる。なお、ここでは「試験範囲」は「探傷有効範囲」と同義で用いられている。

3) 「磁化の確認」

工程確認方式でも、標準試験片確認方式においても、磁化の確認は重要である。JIS 規格の 8.3.2 a) 項に示された、「確認に適切なきずを持つ実際の試験体」がない場合に、b) 項に「表面にできるだけ接近して試験体表面に平行な磁界の強さを測定する。」とあり、最も適切な方法としてホール素子を使用したテスラメータによる確認がある。この場合、正しい値を得るためには、センサーの位置（試験面までの距離・試験面上の位置）、方向（磁界の方向）に考慮し、必要に応じ、同一箇所の高さを変えて測定して、表面の磁束密度を得、その値と空間の透磁率から表面の磁界の強さを得る。

手順書を作成する際には、標準試験片確認方式と工程確認方式の両方式が混在しないように注意が必要である。また、本解説を参考に、予め自身で鋼板溶接部や機械部品などを想定して、各種の磁化方法を用いた手順書を書く練習をしておくことも有効な学習である。

なお、磁界の強さの測定経験や手順書作成経験のない人は、当協会が開催する MT2 及び MT3 の講習会に参加して学習するとよい。

以上、本解説が MT3 の学習の参考になれば幸いである。