

【59 巻 2 号掲載記事に関する訂正】

2010年2月に掲載した記事「UTレベル3 手順書のポイント」に訂正がありました。お詫びして訂正いたします。なお、訂正箇所は4頁目に記載してあります。5頁目、6頁目は修正済みの記事です。

レベル3 一次 基礎試験問題（材料科学，製品，製造技術）のポイント

レベル3の一次試験における基礎試験の材料科学，製品，製造技術に関する試験について，2004年の6月号と2006年の7月号の本欄で解説している。今回は正答率の低い最近の出題の類題を取り上げて解説する。

問1 次の文は，炭素鋼の熱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) 0.4%炭素鋼（亜共析鋼）をオーステナイト状態から徐冷すると， A_3 線に達した時にフェライトが析出し始め， A_1 線（723℃）のところで残りのオーステナイトが共析変態を起こしパーライト組織を生じる。
- (b) 0.4%炭素鋼（亜共析鋼）をオーステナイト状態から急冷すると， A_1 線（723℃）に達した時に膨張を伴うマルテンサイト変態を開始し，炭素を過飽和に含んだ非常に硬い組織に変わる。
- (c) 0.4%炭素鋼（亜共析鋼）をオーステナイト状態から急冷した時，マルテンサイトに変態しなかったものは共析変態を起こしパーライト組織を生じ，零度以下の低温度に急冷するサブゼロ処理によりその量を減らすことができる。
- (d) 0.4%炭素鋼（亜共析鋼）をオーステナイト状態から急冷した後， A_1 線（723℃）以下の温度に加熱すると，マルテンサイト組織は更に硬い靱性に欠ける組織に変わる。

正答 (a)

鋼が古代より現代まで重要な役割を果たしてきた大きな理由の一つは，熱処理によって多様な鋼の特性が得られるためであろう。同じ成分であっても熱処理によって組織は変化し，鋼の特性も大きく変化する。したがって，熱処理によってどのような組織が得られるかを予測できる必要がある。

この問題では，炭素鋼を高温状態から徐冷する場合と急冷する場合の組織について問うている。徐冷する場合の組織は平衡状態図から知ることができる。平衡状態図とは，金属の組成と温度における最も安定な組織を現したものである。図1にこの問題に関係する領域のFe-Fe₃C系の平衡状態図を示している。ここで，0.8% Cを境にして，よりC量の少ない炭素鋼と多い炭素鋼では，

高温より徐冷したときに A_3 線と A_{cm} 線と表示されている勾配が逆の二つの線に出くわすことがわかる。このため，0.8% Cを境に組織に大きな違いが生じることになる。このことより，0.8% Cを境にして炭素鋼の呼び名を変えて，0.8%より少ないCを含む炭素鋼を亜共析鋼と，0.8%より多くCを含む炭素鋼を過共析鋼と呼んでいる。なお，0.8% Cを含む炭素鋼を共析鋼という。

図中の矢印Aの亜共析鋼をオーステナイト組織の高温より徐冷すると， A_3 線に達するa点でフェライトの析出を始める。C量の少ないフェライトを析出することで残りのオーステナイト中のC量は増大し，723℃の A_1 線に達するb点で，残りのオーステナイトは共析変態を起こしパーライト組織となり，オーステナイト組織は消失する。すなわち， A_3 線と A_1 線間の温度ではフェライトとオーステナイトの混在組織となっている。したがって，問の(a)の記述は正しいことになる。

一方，図中の矢印Bの過共析鋼をオーステナイト組織の高温より徐冷すると， A_{cm} 線に達するc点でセメンタイトの析出を始める。C量の多いセメンタイトを析出することで残りのオーステナイトのC量は減少し，やがて723℃の A_1 線に達するとb点で，残りのオーステナイトは共析変態を起こしてパーライト組織に変化する。亜共析鋼と過共析鋼を徐冷した場合の組織は異なる結果となる。

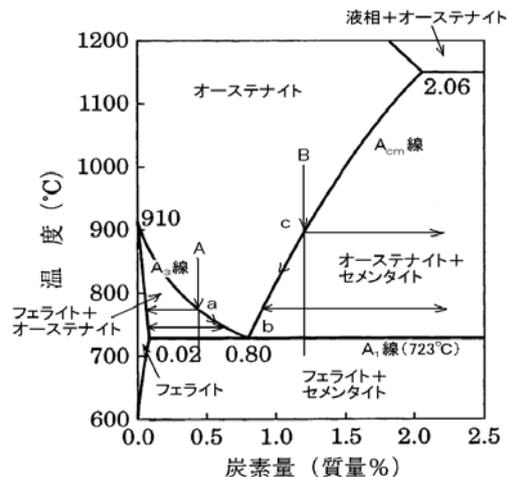


図1 Fe-Fe₃C系平衡状態図の部分拡大図

一方，急冷した場合の組織は連続冷却変態図から予測することができる。図2にSM490鋼の例を示している。縦軸は温度を示し，横軸は冷却時間を示しており，各冷却曲線に対してそれぞれの組織の発生状況が理解できるように示されている。ここで，冷却速度が遅い勾配の緩

やかな冷却曲線の場合を見てみよう。例えば、(A) の冷却曲線では、①点でフェライトが生じ、②点でパーライトが生じ、フェライトとパーライトの混在組織となることを示しており、状態図より予測される組織により近い。

一方、急冷の (B) の点線の場合を見てみよう。400℃ 近傍のマルテンサイト変態開始 (Ms) 線に至るまでは、オーステナイト組織のままであることがわかる。すなわち、急冷した場合には、A₁ 線(723℃)以下の温度でもオーステナイト組織は維持され、かなり低い温度の③点でマルテンサイト変態を開始することがわかる。従って、問の (b) は誤りである。同様に問の (c) も誤りであり、問の (d) は焼戻し熱処理のことを説明しているが、じん性に富む組織とするのが目的であり明らかに誤りである。

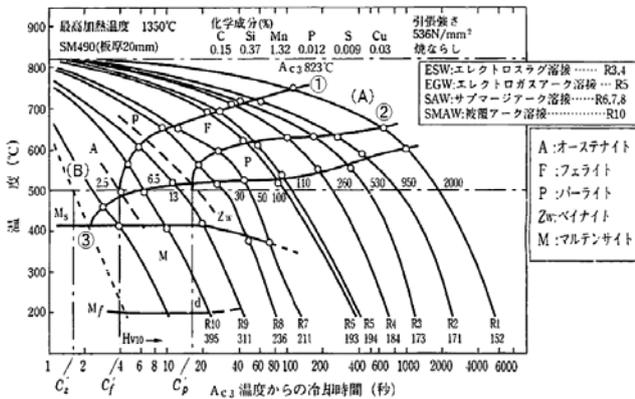


図2 SM490の連続冷却変態図の例

問2 次の文は、熱加工制御鋼 (TMCP 鋼) 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) TMCP 鋼は同一強度レベルの材料と比較すると溶接性はよい。
- (b) TMCP 鋼は再結晶温度以上で圧延が完了するので、結晶方位はランダムになる。
- (c) 集合組織の方向は圧延方向に依存するので、超音波探傷試験で音響異方性の影響が顕著に現れるのは鋼板の主圧延方向と直角な方向 (C 方向という) に探傷する場合である。
- (d) TMCP 鋼は圧延のままではじん性に劣る。

正答 (a)

強度を高くした高張力鋼の開発が進められ、大型構造物の発展に大きく貢献してきた。当初に使用された高張力鋼は Nb, V, Al, Ti などの微量合金成分を添加した

低合金高張力鋼である。しかし、強度が高くなるにつれて合金成分も多くなり、溶接時の割れ防止が重要な課題となった。これに対して、焼入れ焼戻しの熱処理によって強度を高めた調質鋼や熱加工制御鋼と呼ばれる新技術を用いた TMCP 鋼が用いられ、特に TMCP 鋼は同じ強度レベルと比較すると合金成分が低く抑えられ、これによって溶接性は大きく改善している。したがって、(a) が正解である。混同しやすい問としては、「TMCP 鋼は軟鋼と比べても溶接性はよい」などがあるが、溶接割れの防止の観点より、いずれの合金成分が低いかを考えればよい。軟鋼に比べれば、TMCP 鋼といえども合金成分は高く溶接性はより劣る。

集合組織が顕著なのは、結晶粒が一方方向に伸ばされる圧延方向であり、音響異方性も圧延方向で顕著になるので (c) は誤りである。

問3 次の鑄鋼品の品質に影響を及ぼす因子に関する記述のうち、正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 冷やし金は凝固の早い箇所に使用するので、その適正な位置に配置する。
- (b) 鑄鋼品の溶湯は鑄込温度と凝固温度との差が大きいので、湯まわり不良や湯境いなどのきずを発生させやすい。
- (c) 大型の鑄鋼品では、押し湯を用いない場合が多い。
- (d) 鑄型に含まれる水分はブローホールとなり、巣を作る原因ともなる。

正答 (d)

(b) を正解とされた方が多かったが、(b) は誤りである。湯まわり不良や湯境いなどのきずは、鑄型内部に十分に湯が回る前に凝固が開始したために起こると考えられる。したがって、鑄込温度と凝固温度との範囲が狭いほうが湯まわり不良や湯境いは発生しやすくなる。なお、鑄鋼品の溶湯の鑄込温度と凝固温度との範囲はむしろ狭い方である。銅と錫の合金である青銅は古くより鑄物として多く用いられてきた。青銅の凝固温度範囲が非常に広く鑄物に適していたことも一つの理由であろう。

鑄型に含まれる水分はブローホールや巣の大きな原因の一つであり、鑄型材料の選定や鑄込み前の予熱などの対策が講じられている。なお、巣とは鑄物に生じる孔状のきずの総称のことである。

UTレベル3 手順書のポイント

UTレベル3の二次試験は、一般試験(C₁)、専門試験(C₂)及び手順書作成(C₃)で実施される。

本稿における手順書作成についての解説は今回が二回目、第一回の解説はJSNDIホームページのNDTフラッシュ(2005年掲載Vol.54No.6)で閲覧することができる。今回の解説と重なる部分もあるが、これらは手順書を作成するうえで重要なポイントであるから、双方を参考とされたい。

NDT技術文書は、JSNDI発行の参考書「超音波探傷試験Ⅲ」の第7章(品質保証と技術文書)7.5手順の書き方の中で詳細に記述されている。本解説はこの参考書を基にして解説を加えているので、詳細はこの参考書を参照されたい。

1. 手順書作成試験の概要

最近の傾向として、UTレベル3二次試験のC₃手順書作成の試験対象物は以下のものである。

- (a) 圧力容器溶接部
- (b) 鋼板
- (c) 鍛鋼品
- (d) 建築鉄骨溶接部

試験ではこの中から一つの項目を選択し、試験時間60分以内で解答する。したがって、手順書の設問に対して必要事項を要領よく記述することが要求される。それには、解答する試験対象物は自分が日常業務で関係の深いものや、その材料分野の品質管理や探傷についての経験を有し、関連規格にも明るく、探傷上の問題点についても十分に熟知したものを選択するのがよい。

課題で提示される試験対象物の板厚により、適用する規格で用いるSTB又はRB試験片、探触子の種類、探傷感度、走査範囲などの探傷条件が異なる。規格で求めているきず又は欠陥の検出能を満足し、かつ、きずの見落としが起きないことを十分に考慮した超音波探傷試験の手順書を作成するのが望ましい。

前述した試験対象物に対応する規格には次のものがある。

- (1) JIS Z 3060:2002「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」
- (2) JIS G 0801:2008「圧力容器用鋼板の超音波探傷検査方法」
- (3) JIS G 0587:2007「炭素鋼鍛鋼品及び低合金鋼鍛鋼品の超音波探傷試験方法」

(4) 日本建築学会「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規程・同解説:2008」

これらの規格について、UTレベル3取得を目指す者にとって規格の内容を十分に理解し、JIS Z 2350:2002「超音波探触子の性能測定方法」やJIS Z 2345:2000「超音波探傷試験用標準試験片」等の必要な関連規格を理解し、JIS Z 2300:2003「非破壊検査用語」の正しい用語により記述することが大切であることは言うまでもない。

2. 手順書(procedure)

手順書(procedure)は、実際に探傷作業に従事するレベル1及びレベル2技術者に対して、定められた作業手順を文書化したものであるから、手順に何をどのように書きこむのかのプランをしっかり立てることが重要である。以下、JSNDI参考書の例を基に、試験対象物を溶接部の探傷をテーマにして、項目順に一つの作成例として解説を加える。

(1) 表題

検査対象物と探傷方法を特定し、文章名をつける。

例:○○水力発電所・水圧鉄管溶接部・超音波探傷試験・手順、△△化学建設向・圧力容器用鋼板・超音波探傷試験・手順など。

(2) 適用範囲

次の事項について記述する。

- (a) 試験対象物の名称
- (b) 試験対象物の材質・寸法・形状(材質は材料規格に基づく種別、形状は板材、管、型材など)
- (c) 試験の対象部位

(3) 適用規格

準拠図書は、主として適用するJIS規格名称、団体規格名称と共に、探傷に必要な関連規格名称とそれぞれの制定年号も必ず記入する。

(4) 検査技術者

実際の手順書では、作業にあたる検査員の氏名、資格の識別、認証番号等を列記するのが一般的で、有資格者であることが最小限の条件である。しかし、C₃の試験では検査従事者の氏名、認証番号の記述は省略してもよい。必要な資格とともに、「検査対象の特性に十分な知識を有すること」などの文章を付記するのもよい。

(5) 使用器材

探傷作業に使用する器材の多くは使用頻度と経年変化により、購入当初よりも性能が劣化する。そこで購入時はもちろん、定められた周期ごとに定期点検を行わねばならない。探傷作業に用いるには、管理された器材を使用するよう指定することも重要である。

(a) 超音波探傷器

探傷器のメーカー名、形名のほか、必要のある場合は、主な所要性能をあげる。例として、広帯域／狭帯域、デジタル／アナログ、記録出力／メモリー出力等、必要に応じて使用する可能性のある機能をあげる。

(b) 超音波探触子

メーカー、形名のほか、必要により主な所要性能をあげる。例として、広帯域／高分解能、遅延材付、保護膜付、焦点集束型等

(c) 標準試験片及び対比試験片

目的に応じて必要な標準試験片、対比試験片を記述し、場合によってはそれぞれの使用目的を付記するのもよい。

(d) 接触媒質

スピンドル油やマシン油の粘度 (SAE ナンバー)、グリセリン水溶液では濃度などを指定する。公的規格適用のときは指定文にある接触媒質をそのまま引用した方がよいが、探傷部位によっては超音波の伝達を阻害しない媒質の選択も必要となる場合は記述する。

(e) その他の器材

必要に応じて記録器、探触子走査治具など周辺器材の名称と概要をあげる。

(6) 探傷方法

手順書を読む対象となる関係者は NDT の有資格者で、探傷作業に一応の常識を心得ていることが前提になっているから、各項目ともに JIS Z 2300 に規定する非破壊検査用語を用いて簡潔な文章でまとめるのがよい。

最小限必要とされる要点だけについて、ストーリーを組立て順序立てて記述するのがよい。ただし、C₃試験においては、きずの検出能を阻害することなく的確に探傷を実施させる手順が重要であるため、この項の記述内容は指示書の構成で記述されても問題はない。必要事項は図や表を用いて示すと簡潔で分かりやすくなる。

なお、手順は規格や仕様書のまる写し~~だけでは~~**ではなく**、作成者の解釈と意図が実際に探傷する作業者に正確に伝わるよう記述すべきである。

(a) 探傷すべき材料の特性及び実施時期

高張力鋼においては探傷の時期は、鋼種によって溶接作業の完了後一定時間経過後に実施するものもある。探傷部位については、探傷の面や側及びその範囲、探傷方向など略図などで示すと作成者の意図が明確となる。

(b) 探傷感度

探傷作業の準備として、エコー高さ区分線の作成がある。主たる引用規格に基づいて、対象物の板厚からエコー高さ区分線を作成する試験片を指定するとともに、具体的に作成方法まで言及する。なお、検出レベルの指定なども明確にしておかねばならない。また、試験材の表面状態による探傷面の手入れと処置についても記述する必要がある。

(c) 走査範囲、走査方法

目的とする探傷部位を十分にカバーする探触子の走査範囲、走査方法について、きずの見落としを生じないように指示することも必要である。

(d) その他

溶接部の探傷に際し、規格の意図する検出能を満足するには、探傷速度、妨害エコーときずエコーの判別、入射点や屈折角などの定期的なチェック、探傷装置の機材、走査治具の適用法など探傷時の付帯条件も加わる。これらの項目については、必要に応じて記述する。

(7) きずの評価方法

検出レベルを超えるきずエコーが検出された場合のきず位置や指示長さの測定方法について、適用規格に基づき方法を述べる。

(8) 合格判定基準及び判定

適用規格によっては、部材に加わる応力や疲労のかかる条件に応じて分類された判定基準があるので注意が必要である。

本稿では、溶接部の手順書を例に取り、一般的な事項を含めてC₃試験のポイントを解説した。実際の試験では標準的なこれらの項目から、いくつかの選択された項目についての記述が求められる。

C₃試験で最も重要なことは、試験対象物に対し、規格に沿った探傷手順を羅列するだけでなく、レベル3技術者として、レベル1及びレベル2技術者に対し、きずの見落としを防ぎ、規格が要求する検出能を発揮できる探傷法について、文章で的確に表現できる能力を有しているかを問うものであることを認識していただきたい。

UTレベル3 手順書のポイント

UTレベル3の二次試験は、一般試験(C₁)、専門試験(C₂)及び手順書作成(C₃)で実施される。

本稿における手順書作成についての解説は今回が二回目、第一回の解説はJSNDIホームページのNDTフラッシュ(2005年掲載Vol.54No.6)で閲覧することができる。今回の解説と重なる部分もあるが、これらは手順書を作成するうえで重要なポイントであるから、双方を参考とされたい。

NDT技術文書は、JSNDI発行の参考書「超音波探傷試験Ⅲ」の第7章(品質保証と技術文書)7.5手順の書き方の中で詳細に記述されている。本解説はこの参考書を基にして解説を加えているので、詳細はこの参考書を参照されたい。

1. 手順書作成試験の概要

最近の傾向として、UTレベル3二次試験のC₃手順書作成の試験対象物は以下のものである。

- (a) 圧力容器溶接部
- (b) 鋼板
- (c) 鍛鋼品
- (d) 建築鉄骨溶接部

試験ではこの中から一つの項目を選択し、試験時間60分以内で解答する。したがって、手順書の設問に対して必要事項を要領よく記述することが要求される。それには、解答する試験対象物は自分が日常業務で関係の深いものや、その材料分野の品質管理や探傷についての経験を有し、関連規格にも明るく、探傷上の問題点についても十分に熟知したものを選択するのがよい。

課題で提示される試験対象物の板厚により、適用する規格で用いるSTB又はRB試験片、探触子の種類、探傷感度、走査範囲などの探傷条件が異なる。規格で求めているきず又は欠陥の検出能を満足し、かつ、きずの見落としが起きないことを十分に考慮した超音波探傷試験の手順書を作成するのが望ましい。

前述した試験対象物に対応する規格には次のものがある。

- (1) JIS Z 3060:2002「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」
- (2) JIS G 0801:2008「圧力容器用鋼板の超音波探傷検査方法」
- (3) JIS G 0587:2007「炭素鋼鍛鋼品及び低合金鋼鍛鋼品の超音波探傷試験方法」

(4) 日本建築学会「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規程・同解説:2008」

これらの規格について、UTレベル3取得を目指す者にとって規格の内容を十分に理解し、JIS Z 2350:2002「超音波探触子の性能測定方法」やJIS Z 2345:2000「超音波探傷試験用標準試験片」等の必要な関連規格を理解し、JIS Z 2300:2003「非破壊検査用語」の正しい用語により記述することが大切であることは言うまでもない。

2. 手順書(procedure)

手順書(procedure)は、実際に探傷作業に従事するレベル1及びレベル2技術者に対して、定められた作業手順を文書化したものであるから、手順に何をどのように書きこむのかのプランをしっかり立てることが重要である。以下、JSNDI参考書の例を基に、試験対象物を溶接部の探傷をテーマにして、項目順に一つの作成例として解説を加える。

(1) 表題

検査対象物と探傷方法を特定し、文章名をつける。

例:○○水力発電所・水圧鉄管溶接部・超音波探傷試験・手順、△△化学建設向・圧力容器用鋼板・超音波探傷試験・手順など。

(2) 適用範囲

次の事項について記述する。

- (a) 試験対象物の名称
- (b) 試験対象物の材質・寸法・形状(材質は材料規格に基づく種別、形状は板材、管、型材など)
- (c) 試験の対象部位

(3) 適用規格

準拠図書は、主として適用するJIS規格名称、団体規格名称と共に、探傷に必要な関連規格名称とそれぞれの制定年号も必ず記入する。

(4) 検査技術者

実際の手順書では、作業にあたる検査員の氏名、資格の識別、認証番号等を列記するのが一般的で、有資格者であることが最小限の条件である。しかし、C₃の試験では検査従事者の氏名、認証番号の記述は省略してもよい。必要な資格とともに、「検査対象の特性に十分な知識を有すること」などの文章を付記するのもよい。

(5) 使用器材

探傷作業に使用する器材の多くは使用頻度と経年変化により、購入当初よりも性能が劣化する。そこで購入時はもちろん、定められた周期ごとに定期点検を行わねばならない。探傷作業に用いるには、管理された器材を使用するよう指定することも重要である。

(a) 超音波探傷器

探傷器のメーカー名、形名のほか、必要のある場合は、主な所要性能をあげる。例として、広帯域／狭帯域、デジタル／アナログ、記録出力／メモリー出力等、必要に応じて使用する可能性のある機能をあげる。

(b) 超音波探触子

メーカー、形名のほか、必要により主な所要性能をあげる。例として、広帯域／高分解能、遅延材付、保護膜付、焦点集束型等

(c) 標準試験片及び対比試験片

目的に応じて必要な標準試験片、対比試験片を記述し、場合によってはそれぞれの使用目的を付記するのもよい。

(d) 接触媒質

スピンドル油やマシン油の粘度 (SAE ナンバー)、グリセリン水溶液では濃度などを指定する。公的規格適用のときは指定文にある接触媒質をそのまま引用した方がよいが、探傷部位によっては超音波の伝達を阻害しない媒質の選択も必要となる場合は記述する。

(e) その他の器材

必要に応じて記録器、探触子走査治具など周辺器材の名称と概要をあげる。

(6) 探傷方法

手順書を読む対象となる関係者は NDT の有資格者で、探傷作業に一応の常識を心得ていることが前提になっているから、各項目ともに JIS Z 2300 に規定する非破壊検査用語を用いて簡潔な文章でまとめるのがよい。

最小限必要とされる要点だけについて、ストーリーを組立て順序立てて記述するのがよい。ただし、C₃試験においては、きずの検出能を阻害することなく的確に探傷を実施させる手順が重要であるため、この項の記述内容は指示書の構成で記述されても問題はない。必要事項は図や表を用いて示すと簡潔で分かりやすくなる。

なお、手順は規格や仕様書のまる写しではなく、作成者の解釈と意図が実際に探傷する作業者に正確に伝わるよう記述すべきである。

(a) 探傷すべき材料の特性及び実施時期

高張力鋼においては探傷の時期は、鋼種によって溶接作業の完了後一定時間経過後に実施するものもある。探傷部位については、探傷の面や側及びその範囲、探傷方向など略図などで示すと作成者の意図が明確となる。

(b) 探傷感度

探傷作業の準備として、エコー高さ区分線の作成がある。主たる引用規格に基づいて、対象物の板厚からエコー高さ区分線を作成する試験片を指定するとともに、具体的に作成方法まで言及する。なお、検出レベルの指定なども明確にしておかねばならない。また、試験材の表面状態による探傷面の手入れと処置についても記述する必要がある。

(c) 走査範囲、走査方法

目的とする探傷部位を十分にカバーする探触子の走査範囲、走査方法について、きずの見落としを生じないように指示することも必要である。

(d) その他

溶接部の探傷に際し、規格の意図する検出能を満足するには、探傷速度、妨害エコーときずエコーの判別、入射点や屈折角などの定期的なチェック、探傷装置の機材、走査治具の適用法など探傷時の付帯条件も加わる。これらの項目については、必要に応じて記述する。

(7) きずの評価方法

検出レベルを超えるきずエコーが検出された場合のきず位置や指示長さの測定方法について、適用規格に基づき方法を述べる。

(8) 合格判定基準及び判定

適用規格によっては、部材に加わる応力や疲労のかかる条件に応じて分類された判定基準があるので注意が必要である。

本稿では、溶接部の手順書を例に取り、一般的な事項を含めて C₃試験のポイントを解説した。実際の試験では標準的なこれらの項目から、いくつかの選択された項目についての記述が求められる。

C₃試験で最も重要なことは、試験対象物に対し、規格に沿った探傷手順を羅列するだけでなく、レベル3技術者として、レベル1及びレベル2技術者に対し、きずの見落としを防ぎ、規格が要求する検出能を発揮できる探傷法について、文章で的確に表現できる能力を有しているかを問うものであることを認識していただきたい。