

ET レベル 3 二次 C₃ (手順書) 試験のポイント

1. はじめに

JIS Z 2305:2001 非破壊試験 - 技術者の資格及び認証 - に基づく C₃ 試験では、NDT 手順書の作成が課せられる。この規格では、手順書を「ある製品に対して、試験箇所、試験方法、またいかなる順序で NDT 方法を適用すべきかを整然と段階的に記述した文書」と定義している。その他、NDT レベル 3 に認証された技術者は、認証されている NDT 方法において、どのような操作についても指示することができる。これには次のことを含む。

① NDT 設備と職員について全責任を持つ。

② NDT 技法及び NDT 手順を確立して認可する。

などの記述があり、レベル 3 技術者には、これに伴う資格と責任が生じる。したがって、C₃ 試験に出題される手順書は、これに適した内容の記述が求められている。そこで ET-3 の C₃ 試験のポイントとして、手順書の項目と配慮しなければならないことを解説する。

2. NDT 手順書について

NDT 手順書は単独では存在しない。非破壊試験関連の文書、その品質システム等の文書体系の一つとして存在する。当然それらの様式もその文書体系に従うことになる。手順書は基本的には仕様書に基づいて作成される。仕様書は、例えば銅合金管の製造工場における出荷検査の場合は、購入者との「購入仕様書」を示し、化学プラントの熱交換器伝熱管の保守検査の場合は、発注者からの「伝熱管渦電流探傷検査仕様書」を示す。

NDT 手順書には適用範囲、試験体、適用規格及び図書、検査技術者、試験装置、対比試験片、試験条件、試験磁気、試験手順、合否判定基準、再試験、報告書があり、それぞれについて具体的に記述すべきである。

3. NDT 手順書の記述要領

ET 部門の NDT 手順書の作成問題は、コイルの形式により次の 3 種類があり、どの問題が出題されるかは公表されていないので、受験者は全ての試験方法を熟知しておく必要がある。

(a)貫通コイル法 (b)内挿コイル法 (c)上置コイル法

以下、NDT 手順書作成のポイントを記す。

(1) 表題

表題は、仕様書を基に対象とする試験対象物の探傷を行うに適切で、簡潔に記述する。

(2) 適用範囲

適用範囲は、仕様書を基に具体的に簡潔に記述する。

(3) 準拠規格及び図書

準拠する仕様書、JIS、その他規準など関連する図書の記号、名称を記述する。JIS については必ず制定年度を記述すべきである。

例 1) JIS G 0568:2006

鋼の貫通コイル法による渦流探傷試験方法

例 2) JIS G 0583:2012

鋼管の自動渦電流探傷検査方法

など、参考資料として渦流探傷試験 III 11 章 11.2 規格を学習するとよい。

(4) 検査技術者

検査技術者は、JIS Z 2305「非破壊試験-技術者の資格及び認証」に基づいて認証された渦流探傷試験レベル 1 以上の技術者とする。ただしレベル 1 技術者は NDT 指示書に従って検査を実施しなければならない。

(5) 試験装置

前述したように、レベル 3 は「使用する NDT 設備と職員について全責任を持つ」とあり、試験方法を含め試験装置及び機材の選定が渦電流探傷試験において重要なポイントとなる。選定にあたって試験体の材質、形状、寸法、検出すべききずの種類、寸法などを考慮して選定する。きず検出能力は試験方法や装置の性能に依存して変化するので、一般的には予備試験を行って確認する。

「試験装置及び機材」の性能管理については、それぞれの企業が有する非破壊試験に関する“試験機材管理基準”によって定期点検し、それに合格しており、かつ有効期限内に入っているものを使用することが大切である。また、渦電流探傷試験においては JIS Z 2314-1991「渦流探傷器の性能測定方法」なども参考とすればよい。

(6) 対比試験片

渦電流探傷試験に用いられる対比試験片は、材質、寸法、熱処理、表面状況は、試験体と同一あるいは同等でなければならない。また、予め渦電流探傷試験を行い、まぎらわしい指示の無いことを確認しておく必要がある (JIS G 0568:2006 参照)。

基準とする人工きずは、検査対象とするきずの形態、寸法が近いものとされる。例えば、JIS G 0583:2012 によれば、貫通コイル法による鋼管の探傷では、「指定がない場合は、ドリル穴を標準とし、ドリル穴に代えて管軸方向の角溝又は円周方向のやすり溝を使用してもよい。」と記されている。内挿コイル法による熱交換器の

保守検査では、孔食を対象としたドリル穴や、腐食による減肉を対象とした平底ドリル穴や、角溝が用いられる。また、上置コイル法による航空機などの保守検査では角溝（ノッチ）が用いられる。

人工きずの加工方法、対比試験片の管理方法は、参考資料として渦流探傷試験Ⅲ 8章 8.2.3 (4) 対比試験片を学習するとよい。

(7) 試験条件

試験条件は項目順に箇条書き、又は表で示す。記載項目として探傷方法で異なるが、試験コイル、試験周波数、位相、感度、フィルタ周波数、探傷速度、直流磁気飽和電流、リジェクション、記録計感度についてである。

最近の NDT 手順書作成問題の傾向として、「レベル 3 技術者として探傷条件の設定に対し、明確な方針のもとに論理的な記述がされているかどうか。」が求められる。そのため、具体的な計算は不要だが、計算式などを示すことが要求される。NDT 手順書に求められる計算式の例を示す。

(a) 試験周波数の設定に関する計算

貫通コイル法による試験体が管材の場合には、薄肉管の特性周波数 $f_{c(tube)}$ が用いられる。

$$f_{c(tube)} = 2/\pi\sigma\mu t(b - 2t) \quad (\text{Hz})$$

上置コイル法等の場合には、表皮効果による渦電流の浸透深さ δ が用いられる。

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (\text{m})$$

(b) コイルの充填率

貫通コイル法の場合は、試験体の充填率 η がコイル寸法の選択条件となる。

$$\eta = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \times 100 \quad (\%)$$

(c) フィルタ周波数の設定に関する計算

自己比較方式の試験コイルの場合、試験体の搬送速度とコイル間隔からフィルタ周波数の設定を計算する。

(8) 探傷時期

探傷時期として、貫通コイル法による棒材、管材の試験では、曲りの矯正後に行う。内挿コイル法による熱交換器の保守検査では、試験体にコイルを挿入後、一定速度でコイルを引抜きながら行う。

(9) 検査手順

図 1 は、探傷試験の一般的な実施手順を示したものである。

(a) 試験の準備は、予備試験、作業環境の調査、機材の

準備等を示す。

(b) 前処理は、貫通コイル法では、試験体の曲りの矯正や、試験体の表面に付着した金属粉、酸化スケール、油脂の除去、試験体端部に発生したバリの除去を示す。内挿コイル法では、試験体内表面に付着した酸化物、堆積物、海生物の除去を示す。試験技術者が前処理を行うことはほとんどないが前処理状態の確認が必要である。

(c) 装置の設置・予備運転は、安全動作標準の確認、作業環境の確認、予備運転（5～30分）を示す。

(d) 条件設定は、前述した試験条件に試験装置を設定する操作手順を具体的に示す必要がある。基本的には、試験周波数、ブリッジバランス、位相、感度の順になる。このうち、手動バランス、自己保持機能付き自動バランスの装置では、バランス設定する時期が重要となる。

位相設定については、貫通コイル法、及び上置コイル法では、信号処理として振幅法が一般的であり、記録計のチャート上でガタ雑音が最少となるように設定する。内挿コイル法では、信号処理として位相法が一般的であり、基準となる貫通ドリル穴の信号位相角をコイルのインピーダンス平面表示で 135° となるように設定する。試験結果は、2ch 型の記録計でデータを採取する。したがって、手順書ではコイルのインピーダンス平面表示と、

記録計の時間軸表示との関係を具体的に記述することが重要である。

その他、紙面の関係で記載できない手順については、参考資料として渦流探傷試験Ⅲ 8章 渦流探傷試験を学習するとよい。

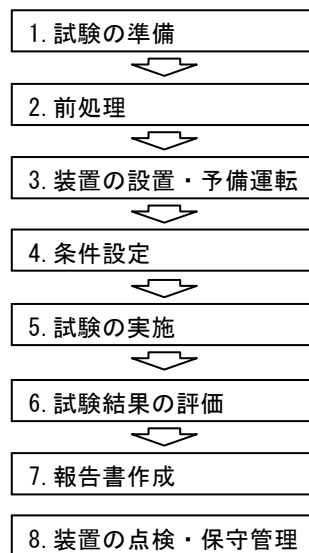


図 1 探傷試験の一般的な実施手順

以上、手順書のいくつかの項目について解説した。NDT 手順書作成は 60 分間に要求された事項を記述する必要があり、答案用紙の記述スペースも限られている。このため、簡潔にまとめ短時間で記述する必要がある。受験者の健闘を祈ります。

SMレベル3 二次C₃ (手順書) 試験のポイント

SM (ひずみ測定) レベル3 二次の C₃ 試験はひずみ測定を実施するに当たっての手順書の作成に関する試験である。この試験は記述式で、試験時間は60分、合格基準は70点以上になっている。

1. ひずみ測定における手順書

JIS Z 2305 では「NDTの手順書はある製品に対して、試験箇所、試験方法、又はいかなる順序で NDT 方法を適用すべきかを整然と段階的に記述した文書」と定義されている。したがって、電気抵抗ひずみ測定法を適用する場合の手順書は、与えられた測定課題の仕様書などを参考にして、次のような項目に対し、整然と段階的に記述した文書として作成される。

1. 試験の目的
2. 適用範囲
3. 準拠規格
4. 測定技術者
5. 試験の実施予定日及び実施場所
6. 試験体 (測定対象)
 - (1) 材質, (2) 形状寸法
7. 試験方法
8. 測定機器と準備
 - (1) ひずみゲージ, (2) 測定器, (3) 変換器
9. 試験環境と結線法
10. 測定上の注意事項
11. 測定結果と報告書
12. その他

しかし、現在実施されている二次の C₃ 試験では試験時間が60分なので、与えられた測定課題に対して、上で示した全項目を定義にしたがって記述することは時間的に不可能である。このため、電気抵抗ひずみ測定法で与えられた課題の測定をするに当たり、主要な項目である測定対象の材質や形状寸法、試験方法、適切なひずみゲージの選択や使用測定機器、結線方法、測定上の注意、測定結果の解析などに関係した4項目に対して具体的な記述をする形式の問題になっている。

2. 手順書作成に関する問題

電気抵抗ひずみ測定法は、圧力を受ける構造物やトランスジューサのセンサなどの静的なひずみの測定、あるいは構造物が振動や衝撃を受けたときの動的なひずみの

測定のいずれにも適用が可能であるので、このような場合のいくつかの課題が出題される。受験者は、これら課題のうちから一つ選び、その課題で与えられた4項目について記述する。

2.1 静ひずみを測定する場合の例

高圧ガス貯蔵用大型鋼製球形タンク表面のひずみを長時間にわたり測定したい。このときの手順書作成に必要な下記の項目について、具体的に記述せよ。

- (1) 測定機器
- (2) 使用するひずみゲージの選定と準備
- (3) ひずみゲージの結線法
- (4) 測定結果の修正事項

解答例

- (1) 鋼製構造物の長時間にわたる静ひずみの測定であるので、静ひずみ測定器 (データロガー) 及び多点ひずみ測定用スイッチボックスを使用する。
- (2) 各測定点での主ひずみ方向が未知の測定なので、ゲージ長 5mm, ゲージ抵抗 120Ω, ゲージ率 2 前後の 3 軸ロゼットゲージを使用する。
ゲージの接着にはシアノアクリレート系接着剤を使用する。
長時間の測定なのでクロロプレン系コーティング剤により十分な防湿処理をする。
- (3) 環境の温度変化を考慮する必要があるため、1 アクティブゲージ 3 線式結線法を適用する。
- (4) 長いリード線を使用するので、この抵抗の影響がある。また、使用したひずみゲージのゲージ率は正確に 2.00 にはなっていない。このため、測定器で得られた指示値を次式で修正する。

$$\varepsilon = (2.00 / K_g) (1 + r / R) \varepsilon_m$$

ここで、 ε 及び ε_m は真のひずみ及び指示ひずみ、 K_g 及び R は使用したひずみゲージのゲージ率及びゲージ抵抗、 r はリード線の抵抗である。

解答に当たっての要点

この課題は多点における静ひずみの測定であるので、静ひずみ測定器 (データロガー) を使用するが、一般に使用されているデータロガー1台では10点の測定しかできない。このため、(1) の項目では多点ひずみ測定用のスイッチボックスが必要であることを記しておく。

試験体の材質は鋼材なのでゲージ長が 5~10mm 程度

の一般に使用されているゲージ抵抗 120Ω, ゲージ率 2 前後のはくひずみゲージでよいが, 主ひずみを求めなければならないので, ロゼットゲージを使用する。屋外での測定なので, ひずみゲージ接着後に十分な防湿処理をしておくことも重要である。また, 測定中に 20~30℃の温度変化を受ける可能性があるので 3 線式結線法を適用する。したがって, (2) 及び(3) の項目にはこれらのことを記しておく。

大型建造物の測定では長いリード線を使用するので, この抵抗の影響を受ける。また, 使用したひずみゲージのゲージ率は正確に 2.00 にはなっていない。したがって, (4) の項目にはこれらの修正について記しておく。

したがって, 各項目に前述したような具体的な記述があるかどうかを採点の基準になる。

2.2 動的なひずみを測定する場合の例

風を受ける鉄塔の指定された箇所(図は省略)のひずみと振動を測定したい。この場合の手順書作成に必要な下記の項目について具体的に記述せよ。

- (1) 試験方法
- (2) ひずみゲージ及び測定機器の選択と準備
- (3) 試験環境と注意事項
- (4) 測定値の解析

解答例

- (1) 鉄塔の各指定された箇所にひずみゲージを接着して風を受けたときの動ひずみを測定し, さらにこのときの鉄塔の振動数を求める。
- (2) 動ひずみの測定であるので, 以下の準備をする。
ゲージ長 10mm, ゲージ抵抗 120Ω, ゲージ率 2 前後の自己温度補償単軸ひずみゲージを使用し, 指定された箇所にシアノアクリレート系接着剤で接着する。接着後にクロロプレン系コーティング剤により十分な防湿処理をする。
測定点数のブリッジボックスと動ひずみ測定器及び測定点数のチャンネルを持つサーマルドットレコーダを用意し, これらの測定器と記録器の接続をする。
- (3) 鋼材用の温度補償ゲージを使用するが, ゲージ率が 2.00 とは多少差があるので, 測定されたひずみの値を次式で修正する。

$$\varepsilon = (2.00/K_g) \varepsilon_m$$

ここで, ε 及び ε_m は真のひずみ及び測定されるひずみ, K_g は使用したひずみゲージのゲージ率である。

- (4) サーマルドットレコーダ(記録器)に記録された波形の振幅から指示値を求め, (3) で示した修正をしてひずみを求める。また, この波形から周期を測定して, 次式により鉄塔の振動数を算出する。

$$f = 1/T$$

ここで, f は振動数, T は記録波形で測定された周期である。

解答に当たっての要点

まず, (1) の項目では, 動ひずみ測定の実験であるので, この試験について記しておく。

また, 動ひずみの測定では, 測定点数のブリッジボックスとこれに接続する動ひずみ測定器を用意する必要がある。さらに, 各箇所の出力を記録器に入れ, この波形と検定基準値から各点のひずみを求めるので, 測定点数のチャンネルを持つ記録器も用意する。しかし, 風による鉄塔の揺れはあまり速い現象ではないので, 記録器としてはペン書きオシログラフ, サーマルドットレコーダ, データレコーダなどを使用すればよい。また, この場合は屋外における建造物の測定であるので, 測定中に温度及び湿度が変化する可能性がある。このため, ひずみゲージの選択や接着後の防湿にはこのことを考えておかななければならないので, 鋼材に合った自己温度補償ゲージの使用並びに十分な防湿処理をする必要がある。(2)及び(3)の項目にはこのようなことを記しておく。

動ひずみ測定では記録器で記録された波形からひずみの値を求め, 振動数もこの波形から算出するので, (4)の項目にはこれらのことを記しておく。

したがって, この測定課題に対して前述したような具体的な記述があるかどうかを採点の基準になる。

参考書「ひずみ測定Ⅲ」には手順書の見本が示されている。この他, 参考書「ひずみ測定Ⅰ, Ⅱ」に記載されている知識を身につけていれば解答できる問題であるので, これらの参考書について勉強をしておく必要がある。

なお, すでに非破壊検査第 55 巻 1 号(2006)の NDT フラッシュ欄には, 二次試験の概要と問題例が紹介されている。さらに, 非破壊検査第 59 巻 6 号(2010)の同欄にも C₃ 試験の例題とこれに対する解答及び解説が記載されているので, これも参考にしてもらいたい。