

## UMレベル1 実技試験のポイント

UMレベル1の実技試験の内容は、JIS Z 2305: 2013に改正される前と基本的に変わっていないが、従来厚さ測定器の調整に時間を別途とっていたが、現在は調整も含め試験時間内で行うようになっている。この他大きな変更はないが、細かい点で多少の変更などもあるので再度現状の実技試験のポイントを紹介する。今回の解説と共に過去の記事も参考にしていきたい。

### 1. 概要

超音波厚さ測定の実技試験内容は、従来と大きな変更はない。試験体の種類と試験時間は表1に示すとおりである。

表1 実技試験項目と時間

	項目	時間
実技試験	① 板材	14分
	② 直管 (パイプ)	4分
	③ 曲管 (エルボ)	12分

実技試験は表1に示す試験体の厚さ測定を下記要領で行い答案を作成する。

#### (1) 板材の厚さ測定

大きさ約 150×150mm の板材の厚さを測定して健全部と異常部の状況を記録する。板材には板厚の薄くなっている部分があり、この異常部と健全部の厚さ測定を行う。また、十字マークの位置で厚さ測定を行い、異常部の X 方向、Y 方向の境界を求める。

#### (2) 直管の厚さ測定

直径約 20mm の直管材の肉厚測定を行う。測定は十字マークの位置で行う。

#### (3) 曲管の厚さ測定

直径約 60mm の曲管 (エルボ) の減肉部の厚さ測定を行い、またその減肉部の範囲の長さを測定する。測定は曲管外側中央に描かれたけがき線に沿って測定する。

具体的な実技試験の要領は試験開始前に行われる実技試験の内容確認の際に示される「超音波厚さ測定 NDT 指示書」に記載されているので熟読し、理解しておくことが必要である。

### 2. 最近の変更点など

従来超音波厚さ計の取扱いの時間を試験時間とは別途に2分程度とっていたが、板材の試験時間に調整時間も組み込まれ、従来板材の試験時間は10分であったが、現在は14分となっている。超音波厚さ計は主に2種類の機種が使用されている。これらの厚さ計は必ずしも固定されたものではなく今後変更されることもありうる。実技試験ではどちらの厚さ計で行うかは席の配置が決まるまで分からない。超音波厚さ測定を行おうとする技術者は、その他の厚さ計を含め取扱いが十分できるようにしておかなければならない。実技試験会場の机上にはそれぞれの超音波厚さ計の取扱い説明書がおかれている。もし取扱い要領が分からなかったら、その取扱い説明書を参考にして操作を行うことができる。

### 3. 一般的注意事項

#### (1) 使用機器

- ① 二振動子垂直探触子付きデジタル超音波厚さ計
- ② 接触媒質：マシン油，グリセリンペースト
- ③ 校正用試験片 (階段状試験片)
- ④ 直定規，デバイダ，マーク用サインペン又はダーマトグラフなど

(2) NDT 指示書は、「実技試験の注意事項」，「超音波厚さ計の取扱説明書」とともに白いクリアブックにまとめられ、1 ページ目に「実技試験での注意事項」，2 ページ目に「超音波厚さ計の取扱い説明書」，3 ページ目以降に「超音波厚さ測定 NDT 指示書」が掲載されている。これらは実技試験前に実技試験の内容確認の時間 (約 10 分) によく読んで確認をする。この資料は実技試験会場にも机上に設置してあるので、実技試験の途中で実施要領を確認したくなった場合見ることができる。

(3) 実技試験は超音波厚さ測定 NDT 指示書に従って行い、試験時間内に答案作成まで行う。

(4) 板材の試験時間のはじめに超音波厚さ計の調整を行う。

(5) 各試験体の測定前と測定後は必ず校正試験片 (5mm, 15mm) を用いて NDT 指示書で指定された厚さで校正を行う。

(6) 接触媒質は2種類あるが、試験体ごとに NDT 指示書で指示された接触媒質を必ず使用する。

(7) 試験体へのマークはサインペン又はダーマトグラフで行い、試験体にきずのつく恐れのある鉛筆やデバ

イダなどは用いない。

- (8) 超音波厚さ計の電池切れなどの異常が見られた場合はすみやかに係員に連絡する。
- (9) 冊子で示された超音波厚さ測定 NDT 指示書などの書類をよく読んで理解しておくこと。
- (10) 超音波厚さ測定を開始する前に、答案用紙に超音波厚さ計の型式名、厚さ計管理番号、探触子管理番号などを忘れないよう記入しておく。

#### 4. 試験体毎の測定要領

##### (1) 板材

板材の表面に試験体番号が印字されており、その番号を指定された位置にセットして厚さ測定を行う。試験体の表面に十字マークが描かれている。その付近を中心にして指定された接触媒質を使用して最も薄くなる部分を測定する。また、健全部の厚さを測定する。更に十字マークの周辺を X 方向 Y 方向に延長線上を測定し、健全部の厚さに戻る位置を特定する。これらの測定結果を答案用紙に記入する。答案用紙は、升目のついたグラフ用紙が用意されているので、十字マークの位置、X 方向、Y 方向それぞれの健全部に戻った位置などを NDT 指示書に従って記録する。

##### (2) 直管

直径約 20mm の直管の厚さを測定する。直管には試験体番号が刻印されている。この試験体番号を指定された位置にセットする。試験体の測定部分となる、十字マークが施されている点の厚さを測定して記録する。この場合、二振動子垂直探触子の音響隔離面の向きが管と平行の場合と直交する場合について測定することになっているので忘れないよう両方向の向きで測定する。また、接触媒質は、直管試験体の直径が小さいので、NDT 指示書に指定されている接触媒質を使用しないと NDT 指示書に指定された指示通り測定を行っていないことになる。

##### (3) 曲管（エルボ）

直径約 60mm のエルボの外周部内面に腐食部を模した試験体の減肉部の厚さ及びその長さを測定する。試験体は、外周面が上部になるよう架台に載せられており、上部から測定を行う。架台の正面に試験体番号が表示されており、試験体番号が手前になるようセットして測定を行う。エルボの外周部の中央にケガキ線が

描かれておりその線上を測定する。多点測定を行い、最小値を記録する。また、最小値から左右それぞれに健全値に戻る位置を特定し、サインペン又はダーマトグラフでマークしておき、探触子を外したのちデバイダを使用して直線距離を測定する。

答案用紙には最小値の位置と左側の健全部に戻った位置、同様に右側の健全部に戻った位置を記入する。

エルボの両側は蓋がされているので内部を観察することはできない。

二振動子垂直探触子の音響隔離面の位置は、超音波厚さ測定 NDT 指示書に従って測定を行う。

二振動子垂直探触子は、送信用と受信用の二枚の振動子が装着されており、薄い材料の厚さ測定に有効なようにくさびにループ角を持たせ、ループ部分に振動子を接着した構造になっており、垂直探触子に比べ若干超音波の伝搬方向が斜めになっており、送信側と受信側の間に音響隔離材が装着されている。この向きによって超音波ビームの反射が最も強くなる深さ位置が異なる。管などの接触面の小さくなる材料の測定ではこの向きにより測定値が若干異なることがあるので指示どおりに実施することが必要である。

#### 5. その他

(1) 厚さ測定値は小数点以下第 1 桁まで記入し、距離（位置）の値は 1mm 単位で記入する。厚さの値が丁度 10mm となった場合でも表示値は 10.0mm であるから 10mm と記入しないで 10.0mm と記入する。また、測定単位は答案用紙にも記入してあるはずなのでよく確認して単位を間違えないように記入する。

(2) 管径の小さなパイプの厚さ測定を行う場合、探触子面とパイプとの接触面が小さくなり、接触媒質が多めの場合探触子の端部で管表面との間で複数回反射するなどしてごく小さな値が表示されることがある。この場合適切な接触媒質を適量（多すぎないように）塗布し測定することが必要である。接触媒質の種類は試験体毎に超音波厚さ測定 NDT 指示書で指示されているのでよく確認してほしい。

以上 UM1 の実技試験について解説を行った。

UT1 や UT2 の実技試験については JIS Z 2305:2013 によってかなり変更があったが、UM1 の場合は大きな変更はなかった。以前解説を行った 56 巻 11 号(2007 年)の資料も参考にいただければ幸いです。

**ST レベル 3 二次試験のポイント**

非破壊試験技術者資格及び認定の規格 JIS Z 2305 の改正により、ひずみ測定試験がひずみゲージ試験に変更された。これに関する詳細は非破壊検査 Vol.65, No.4 の NDT フラッシュ欄で紹介してあるので参照してもらいたいが、ここでは従来の SM3 の C<sub>1</sub> (一般) に対応する ST3 のパート D 試験の類似問題に関する解説をする。これらの問題は基本的に従来の C<sub>1</sub> の問題と同じであるが、ひずみ測定ではなくひずみゲージ試験の範囲に限定されることから、電気抵抗ひずみ測定で得られた結果による構造物の安全評価、すなわち構造部材の強度、疲労や破壊などに関しての問題が主になる。

**問 1 次のひずみゲージ試験に関し記述から、正しいものを一つ選び、記号で答えよ。**

- (a) 引張荷重を受けている部材では引張方向が主方向なので、これに直角な方向のひずみは生じない。
- (b) 電気抵抗体の抵抗変化による方法は正ひずみの測定法なので、負のひずみは求められない。
- (c) 曲げ変形を受けるはりのような部材では応力が表面に生じ、内部には生じていない。
- (d) ひずみは無次元量であるが、これから求められる応力は単位面積当たりの力の量になる。

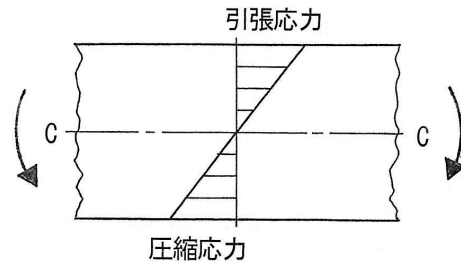
**正答 (d)**

引張荷重を受けている部材では主方向の引張ひずみとともにこれと直角になる主方向の圧縮ひずみが生じる。したがって (a) の記述は誤っている。なお、平面応力状態である部材の縁のような自由境界では、引張方向の主応力はあるが、これと直角方向の主応力は零になるので、注意してもらいたい。

また、ひずみゲージのような電気抵抗体は正の引張ひずみを受けると抵抗値が増加し、負の圧縮ひずみを受けると減少する。したがって、この抵抗変化による方法では正、負両方のひずみを求めることができるので (b) の記述も誤っている。

さらに、**図 1** は上に凸になるような曲げを受けたはり部材の応力分布である。この図からも分かるように、はりの中央、すなわち C-C で示した中立軸では応力が零になる。しかし、ここ以外では直線的に変化する分布の応

力が生じるので (c) の記述も誤っている。



**図 1 曲げを受けるはり断面の応力分布**

一方、ひずみは基準長さに対する変形量なので、比の形になり無次元量であるが、部材の受けている応力が弾性限度以下であるとすると、この応力とひずみは次の関係になる。

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

ここで、 $\sigma$  は応力、 $\epsilon$  はひずみ、 $E$  は部材材料の縦弾性係数である。この式の  $E$  の単位は Pa (N/m<sup>2</sup>) であり、 $\epsilon$  は無次元量なので、 $\sigma$  の単位も Pa になる。これは単位面積 (m<sup>2</sup>) 当たりの力になるので、(d) は正しい記述になり、これが正答になる。

**問 2 縦弾性係数 206 GPa、基準強さ 600 MPa、断面積 1200 mm<sup>2</sup>、安全率 5 の鋼製ワイヤロープで安全に吊り上げられる最大荷重と、そのときにワイヤロープで測定されるひずみ量の一つを選び、記号で答えよ。**

- (a) 最大荷重は 144 kN で、このときのひずみの測定値は  $583 \times 10^{-6}$  である。
- (b) 最大荷重は 151 kN で、このときのひずみの測定値は  $606 \times 10^{-6}$  である。
- (c) 最大荷重は 144 kN で、このときのひずみの測定値は  $717 \times 10^{-6}$  である。
- (c) 最大荷重は 151 kN で、このときのひずみの測定値は  $752 \times 10^{-6}$  である。

**正答 (a)**

このワイヤロープの許容応力  $\sigma S$  は、基準強さを  $\sigma$ 、安全率を  $S$  とすると、

$$\sigma S = \sigma / S = 600 / 5 = 120 \text{ MPa}$$

になる。したがって、安全に吊り上げることのできる最大荷重  $W$  は、ワイヤロープの断面積を  $A$  とすると、

$$W = \sigma S \cdot A = 120 \times 10^6 \times 1200 \times 10^{-6} = 144 \times 10^3 = 144 \text{ kN になる。}$$

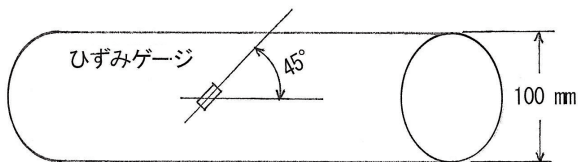
さらに、このときのひずみ  $\varepsilon$  は、ワイヤロープの縦弾性係数を  $E$  とすると、

$$\varepsilon = \sigma S / E = 120 \times 10^6 / 206 \times 10^9 = 583 \times 10^{-6}$$

になり、(a) が正答になる。

なお、基準強さには材料の降伏点あるいは引張強さなどにすることがあるが、いずれにしても不確かさが存在する。許容応力はこの不確かさを補うために安全率を設定し、基準強さをこの値で除した形で求められている。

問3 下の図のように、縦弾性係数が 206 GPa、ポアソン比が 0.3、直径が 100 mm の鋼製の軸の表面に軸線と 45° の方向にひずみゲージを接着してひずみを測定したところ、 $58 \times 10^{-6}$  になった。このときに軸が受けているトルク（回転モーメント）を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。



- (a) 1.2 kN・m      (b) 1.4 kN・m
- (c) 1.8 kN・m      (d) 2.0 kN・m

正答 (c)

図のような 45° 方向のひずみを  $\varepsilon_1$  とすると、これは主ひずみになる。このときの最大せん断応力  $\tau$  は、軸材料の縦弾性係数  $E$ 、ポアソン比  $\nu$  とすると次の式で求められる。

$$\tau = \{E / (1 + \nu)\} \cdot \varepsilon_1$$

$$= \{206 \times 10^9 / 1.3\} \times 58 \times 10^{-6} = 9.19 \times 10^6 \text{ Pa}$$

一方、軸直径を  $d$  とすると、受けているトルク  $T$  は  $\tau$  と次のような関係になる。

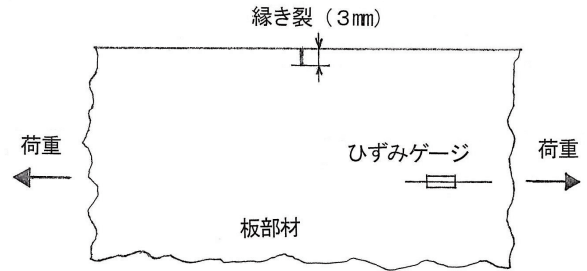
$$T = \pi d^3 / 16 \cdot \tau$$

$$= \{3.14 \times (0.1)^3 / 16\} \times 9.19 \times 10^6 = 1804 \text{ N} \cdot \text{m}$$

すなわち、1.8 kN・m になり (c) が正答になる。

なお、軸などがねじり受ける場合の問題では、ここで使用した主ひずみと最大せん断応力の関係式及びこの最大せん断応力とトルクの関係式が与えられていることもある。しかし、ねじりによる変形の場合の主要な式であり、参考書『ひずみ測定Ⅲ』などにも掲載されているので、覚えておいてもらいたい。

問4 繰り返し荷重を受ける縦弾性係数 73 GPa のアルミニウム合金製板部材で下の図のような長さ 3 mm の縁き裂が検出された。この部材が荷重を受けているとき、き裂に直角な方向にひずみゲージを接着し、ひずみを測定したところ最大値が  $885 \times 10^{-6}$  であった。き裂が小さく、板部材を半無限板とみなして求められるモード I の応力拡大係数を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。



- (a) 6.0 MPa√m      (b) 7.0 MPa√m
- (c) 8.0 MPa√m      (d) 9.0 MPa√m

正答 (b)

ここで荷重を受けているときのき裂に直角な方向の応力  $\sigma$  は測定されたひずみ  $\varepsilon$  及び部材の縦弾性係数  $E$  とすると、

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = 73 \times 10^9 \times 885 \times 10^{-6} = 64.61 \text{ MPa}$$

になる。一方、このような半無限板のモード I の応力拡大係数  $K_I$  はき裂の長さを  $a$  とすると、

$$K_I = 1.12 \sigma \sqrt{\pi a} = 1.12 \times 64.61 \times \sqrt{31.4 \times 3 \times 10^{-3}}$$

$$= 7.0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

になり、(b) が正答になる。

この問の場合も、上で示されている半無限板に対するモード I の応力拡大係数  $K_I$  を求める式は参考書『ひずみ測定Ⅲ』などに掲載されていて、破壊力学の基礎になっているので覚えておいてもらいたい。

ST3 パート D では測定手法がひずみゲージ試験に限定されることから、従来の SM3 の C<sub>1</sub>（一般試験）よりも出題範囲が狭くなっている。このような観点から、ここではひずみゲージ試験を実施するに当たり必要な知識とこの試験結果を使用した構造部材の強度あるいは安全性の評価に関する類似問題を取り上げ、解説をした。