

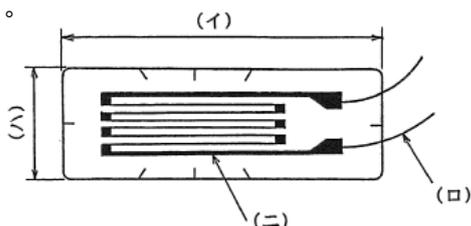
## S Mレベル1 一次専門試験問題のポイント

JIS Z 2305 による資格試験のひずみ測定 (SM) 部門レベル1 技術者の新規一次試験は一般問題と専門問題から構成されている。また、この部門のレベル1 技術者は「上級技術者の指導あるいは文書による指示で電気抵抗ひずみ測定法の作業が一貫して行なえる能力」が要求されている。このため、専門試験問題は電気抵抗ひずみ測定を実施する上で必要な知識についての問題である。

ここでは、特にこの専門問題として出題されているものと類似の例題により、解答に当たってのポイントを解説する。

### 一次専門試験問題例と解説

問1 単軸ひずみゲージの模式図が下に示してある。この図について次の記述から正しいものを一つ選び、記号で答えよ。



- (a) (イ) は金属はくで構成されている受感部の長さでゲージ長になる。
- (b) (ロ) はゲージリードで、この線の抵抗変化からひずみが求められる。
- (c) (ハ) は受感部の幅で、横感度係数はゲージ長とこの幅の比になる。
- (d) (ニ) はゲージ受感部で、ひずみにより抵抗が変化する部分である。

### 正答 (d)

(イ) はゲージベースの長さで、ゲージ長は (ニ) の受感部の長さになる。(ロ) のゲージリードはリード線への接続部分で、この抵抗はひずみの測定に直接関係しない。(ハ) は受感部の幅ではなくゲージベースの幅である。また、横感度係数はひずみゲージの長さとの幅の比ではなく、長さ方向のゲージ率に対する横感度の比として定義されている。(ニ) の部分はひずみゲージの受感部で、ここが伸縮を受けると電気抵抗が変化する。電気抵抗ひずみ測定法はこの抵抗変化からひずみを求める方法である。したがって、ここでは (d) が正答になる。

問2 ひずみゲージを被測定物に接着する場合、測定環境の温度範囲がどの程度であればシアノアクリレート系接着剤が使用できるか。次のうちから使用できる温度範囲を選び、記号で答えよ。

- (a)  $-50^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$
- (b)  $-196^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$
- (c)  $-250^{\circ}\text{C} \sim +250^{\circ}\text{C}$
- (d)  $-270^{\circ}\text{C} \sim +500^{\circ}\text{C}$

### 正答 (b)

シアノアクリレート系接着剤は硬化時間が短く扱いも簡単なので、ひずみゲージの接着に広く使用されている。この接着剤は $-196^{\circ}\text{C}$ の液体窒素中でも使用可能である。しかし、高温の場合は $100^{\circ}\text{C}$ 程度が限度とされている。したがって、ここでは(b)が正答である。

なお、測定環境の温度が $100^{\circ}\text{C}$ 以上になるような場合はより高温に適した接着剤を使わなければならない。このため、ひずみ測定を実施するに当たっては、この他の接着剤に関する知識も必要になり、これについての問題も出題されるので、参考書「ひずみ測定 I」などで各種の接着剤についても学んでおいてもらいたい。

問3 屋外で長時間のひずみ測定をする場合にはコーティング剤を使用しなければならない。このコーティング剤の使用目的に該当するものを次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 接着剤の接着力の向上
- (b) リード線接続部分の固定
- (c) ひずみゲージの防湿
- (d) 接着部分絶縁抵抗の増加

### 正答 (c)

最近のひずみゲージはある程度耐湿性のあるものになっている。しかし、屋外での長時間にわたる測定ではゲージベースや接着部分が吸湿し、安定な測定をする上で悪影響を及ぼす。コーティング剤はこのような場合の防湿処理に使用される。したがって、この間では (c) が正答になる。

また、実際にひずみ測定をする場合には吸湿による悪影響や吸湿防止用各種コーティング剤の特徴などの知識も重要であり、これに関する問題も出題される。このため、参考書「ひずみ測定 I」などでこれらの知識についても学んでおいてもらいたい。

問4 ゲージ率 2.00 のひずみゲージの抵抗が 0.2 % 変化したとしたら、このときのひずみはいくらか。次のうちから選び、記号で答えよ。

- (a)  $1000 \times 10^{-6}$       (b)  $2000 \times 10^{-6}$   
 (c)  $5000 \times 10^{-6}$       (d)  $4000 \times 10^{-6}$

正答 (a)

電気抵抗ひずみ測定法はひずみとひずみゲージの抵抗変化が比例することを利用している。抵抗  $R$ 、ゲージ率  $K$  のひずみゲージがひずみ  $\varepsilon$  によって抵抗が  $\Delta R$  変化したとすると、次のような関係になる。

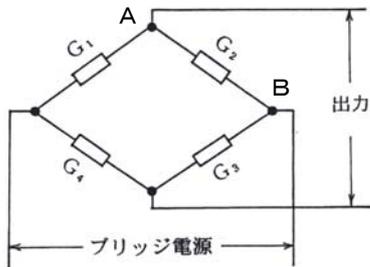
$$\varepsilon = (\Delta R / R) / K$$

ここでは、 $\Delta R / R = 0.2 \% = 0.002$  である。したがって、これと  $K$  の値を上式の式に代入すると、

$$\varepsilon = 0.002 / 2.00 = 0.001 = 1000 \times 10^{-6}$$

となり、(a) が正答になる。

問5 抵抗  $120 \Omega$  のひずみゲージ  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$ 、 $G_4$  により下図のような4アクチブゲージ法のブリッジ回路を組み、A B間の抵抗を測定した。ところが、 $G_2$  のリード線が断線していた。このときのA Bの抵抗値  $R$  を次のうちから選び、記号で答えよ。



- (a)  $90 \Omega$     (b)  $120 \Omega$     (c)  $240 \Omega$     (d)  $360 \Omega$

正答 (d)

リード線の断線などでブリッジ回路の初期平衡がとれない場合のチェック方法についての問であるが、この4枚のひずみゲージの抵抗を  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、ブリッジ回路A B間の抵抗を  $R$  とすると、正常に回路が組まれている場合には  $(R_1 + R_3 + R_4)$  と  $R_2$  を並列に接続した回路の合成抵抗になるので、

$$1/R = 1/(R_1 + R_3 + R_4) + 1/R_2$$

の関係になる。しかし、設問のように  $G_2$  のリード線が断線しているところには電流が流れない。このため、

$$R = R_1 + R_3 + R_4 = 120 + 120 + 120 = 360 \Omega$$

になり、(d) が正答になる。

問6 ゲージ率が 2.02 のひずみゲージを用いて設定ゲージ率が 2.00 のデータロガーによりひずみを測定したところ、 $1200 \times 10^{-6}$  であった。この場合の真のひずみを次のうちから選び、記号で答えよ。

- (a)  $1440 \times 10^{-6}$       (b)  $1212 \times 10^{-6}$   
 (c)  $1188 \times 10^{-6}$       (d)  $1002 \times 10^{-6}$

正答 (c)

一般に、ひずみゲージのゲージ率を正確に 2.00 に造るのは難しく多少異なっているため、ゲージ率を 2.00 に設定したデータロガーで測定されたひずみの値は補正して真の値を求める必要がある。

データロガーのゲージ率を  $K_m$ 、使用したひずみゲージのゲージ率を  $K_g$ 、測定されたひずみを  $\varepsilon_m$  とすると、この場合の真のひずみ  $\varepsilon$  は次の式で求められる。

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

この式に設問で与えられた値を代入すると、

$$\varepsilon = (2.00 / 2.02) \times 1200 \times 10^{-6} = 1188 \times 10^{-6}$$

になり、(c) が正答になる。

問7  $+1000 \times 10^{-6}$  の校正値が 20 mm の高さになるよう設定した記録器で動ひずみの波形を記録した。この波形の+側の高さが 12.5 mm のところのひずみを次のうちから選び、記号で答えよ。

- (a)  $625 \times 10^{-6}$       (b)  $875 \times 10^{-6}$   
 (c)  $1015 \times 10^{-6}$       (d)  $1250 \times 10^{-6}$

正答 (a)

動ひずみ測定では、記録器で記録した波形とあらかじめ与えられたひずみ校正値との比較によりひずみを求めている。すなわち、記録器上の  $h_0$  の高さがひずみ校正値  $\varepsilon_0$  になるように設定した場合、 $h$  なる波形高さのところでのひずみ  $\varepsilon$  は次のようになる。

$$\varepsilon = (h / h_0) \varepsilon_0$$

したがって、 $h = 12.5 \text{ mm}$  でのひずみはこの式より、

$$\varepsilon = (12.5 / 20) \times 1000 \times 10^{-6} = 625 \times 10^{-6}$$

となり、(a) が正答になる。

なお、非破壊検査誌 Vol. 55, No. 8 のNDTフラッシュ欄では、SMレベル1新規一次試験の概要などが紹介されているので、これも併せて参考にしてもらいたい。

## UT レベル 2 実技試験のポイント

UT レベル 2 実技試験のポイントについては既に、2003 年の「非破壊検査」Vol.52, No.7 に掲載しており、当協会のホームページ“資格試験”の“NDT フラッシュ”のコーナーにて閲覧が可能である。

試験の課題は表 1 に示すとおりで、前回紹介したときと変化はない。実技試験は決められた時間内で効率良く、かつ精度の高いデータ取得能力を試される。そのため、レベル 2 の試験であっても装置の取扱いや探触子の保持方法、探触子走査など探傷の基本に忠実であるか否かで合否が決定すると言える。

今回はこの基本操作について重点的に解説を加えるが、内容の一部には超音波探傷の入門コースやレベル 1 クラスの基本的なことに立ち返っての記述となる部分があることをご容赦願いたい。

表 1 試験項目と時間

| 試験項目                    |                           | 時間  |
|-------------------------|---------------------------|-----|
| (1) レベル 1 への NDT 指示書の作成 |                           | 30分 |
| (2) 実技試験                | ① 板材の垂直探傷試験               | 15分 |
|                         | ② T 継手溶接部の斜角探傷試験          | 50分 |
| (3) 答案作成                | ① データ整理、エコー高さ区分線の転写と答案の作成 | 30分 |

※(1)の後に実技試験内容確認を 10 分程度行う。

### 1. NDT 指示書の作成

JIS Z 2305 では、レベル 2 はレベル 1 技術者に対する指示書作成能力が求められている。

指示書の作成で対象となるのは、圧力容器や建築構造物の溶接部の探傷である。あらかじめ手順書が与えられており、該当する規格の必要項目も示されている。この手順書に基づいて指示書問題を解答するが、各問題は 4 者択一形式である。各規格で規定されている数値を暗記する必要はないが、レベル 2 を目指す者であれば、JIS G 0801, JIS Z 3060, 日本建築学会規準などに一通り目を通しておくことを望むものである。

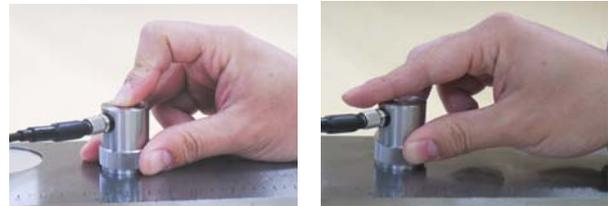
### 2. 実技試験

#### 2.1 垂直探傷試験

##### (1) 探触子の保持

実技試験の最大のポイントは探触子の保持方法にある。試験材に接触媒質を塗布し、探触子を接触させ

ば底面エコーを容易に得ることができる。しかし、試験で求められているのは“計測と結果”である。正しい結果を得るには安定度の高い探触子保持方法が要求される。



(a) 良い保持方法

(b) 不安定な保持

図 1 探触子の保持方法

図 1 は STB-A1 に垂直探触子を適用して底面の多重エコーを出している図である。(a)の写真は探触子を親指と中指で軽く挟むように保持し、かつ A1 試験片に指と手の腹を接触させて探触子を固定させている。さらに、人差し指は探触子の中央部から荷重を真下に加えている。この持ち方は余剰の接触媒質を素早く排出できるので、エコーが安定するのに数秒を要しない。

これに対して、(b)の写真は、手が油で汚れないように STB 試験片から手を浮かした状態で探触子を挟み込み、人差し指は伸ばした状態で探触子に荷重をかけている。この場合、荷重点が探触子の縁にあるため、力は斜め方向から加わることで、接触媒質の膜厚が微妙に変化してエコー高さが変動する。その結果、感度調整作業に時間を要することになる。

探触子保持方法の適否は、探傷効率や探傷精度に大きく影響する。

##### (2) 探傷器の調整

ここでの重要ポイントは、探傷装置のつまみ調整とデータ記録の度に探触子を持ち替えないことである。

悪い例として、利き手で探触子を保持し、利き手でつまみを操作する、そして利き手で記録する。その度に探触子を反対の手に持ち替える行為を目にする。

これでは探触子に対する加重ポイントがずれて、エコー高さが低下する。その度に最大エコー位置を探し出す探触子走査のやり直しで苦戦を強いられる。

したがって探傷の安定性を高めるには、探傷の始まりからデータ記録までの連続作業で、左右の手の作業分担を決めておくことが必要である。微妙な探触子走査が必要なときは記録側のサブの手を添えて、両手で探触子走査をするのが基本である。この場合もメインの手は写真(a)の形を保持することである。

##### (3) 探傷の手順を整理する

垂直探傷試験は JIS G 0801 に基づく板材の探傷が課されるが、試験材の表面は粗いため、STB-N1 の感度に伝達損失分の感度を加える補正をする必要がある。感度補正したうえで、探傷に臨むわけであるが、概ね 2 個ある欠陥をエコー高さに応じて軽欠陥 (○)、中欠陥 (△) 及び重欠陥 (×) に分類する。それぞれの欠陥は最大エコー高さを示す探触子位置は試験体左上を原点とした座標軸で計測すると共に、エコー高さ (%) と欠陥深さを求める。さらに、重欠陥 (×) については、最大エコー高さを >100% と記録し、欠陥の両端の位置及び欠陥指示長さを記録する。この場合、指示長さは欠陥の長く伸びている方向 (X 又は Y) だけの計測でよく、短い方の方向は計測する必要がない。

垂直探傷試験の手順をまとめると次の手順となる。

- ①測定範囲を 125 mm に調整する。
- ②STB-N1 の健全部  $B_1$  を所定の高さ (例として  $B_G:80\%$ ) に合わせてゲイン値 (a) を読み取る。ここで、①と②の作業は STB-N1 健全部を用いて連続的に行ってもよい。
- ③試験体の所定の位置 (試験体右下に表示された白丸の範囲内) の  $B_1$  を②と同じエコー高さに調整し、そのゲイン値 (b) を読み取る。
- (b)dB - (a)dB が面粗さによる伝達損失量である。
- ④STB-N1 の基準穴 ( $\phi 5.6$ ) を 50% に調整する。この探傷感度設定操作が最も重要なポイントである。所定のエコー高さに調整するには、最大エコー高さを確実に求めなければならない。標準きずのエコー高さを 80% 前後で最大エコー高さを示す探触子位置を X 方向と Y 方向の走査で探し出す。この位置が決まって、しっかりと探触子を固定してから最後にエコー高さを 50% に調整する。
- ⑤試験体の探傷は④で求めた基準感度に③で計測した伝達損失分を感度補正量として上乘せして探傷感度とする。
- ⑥試験体の探傷は試験体全面を X 方向及び Y 方向に走査し、欠陥の分布状況を把握することから始まる。探傷面をランダムに走査していると欠陥の位置や分布の状況を把握するのに時間を要してしまう。
- ⑦測定は 2 個の欠陥について行う。軽欠陥や中欠陥については深さ、原点からの X、Y 距離及びエコー高さを測定する。重欠陥については長さを測定するが、これらの測定においても、前述した基本操作による探触子の保持、探傷器のつまみ操作を実施すれば測定を手

際よく良好な精度でデータを取得することが出来る。

## 2.2 斜角探傷試験

板厚 25 mm の T 継手溶接部の探傷が課題である。

### (1) エコー高さ区分線の作成

RB-41 No.2 を用いて測定範囲 200 mm の条件でエコー高さ区分線を作成し、溶接部の探傷を行う。

ここでのポイントは、エコー高さ区分線の作成である。1/4 S、2/5 S、3/4 S、5/4 S の 4 ポイントについて、区分線を合計 6 本描く (図 2)。デジタル探傷器の場合は、エコー高さ区分線の自動作成機能を使用してよい。

アナログ機とデジタル機共に、それぞれのスキップ点における探触子位置 (y)、ビーム路程 (w) の数値は探触子の屈折角 70 度を標準として、その概数を把握しておけば、区分線の作成時間を大幅に短縮することができ、溶接試験体の探傷に時間的な余裕が生まれる。

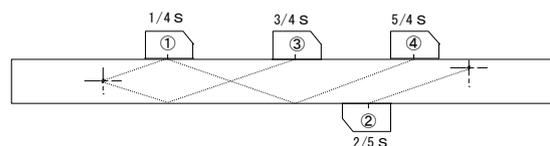


図 2 エコー高さ区分線作成時の探触子配置

RB-41 試験体の探触子位置とビーム路程

- ①の位置 1/4 S の  $y=34$  mm,  $w=36$  mm
- ②の位置 2/5 S の  $y=55$  mm,  $w=58$  mm
- ③の位置 3/4 S の  $y=103$  mm,  $w=110$  mm
- ④の位置 5/4 S の  $y=172$  mm,  $w=183$  mm

### (2) 斜角探触子の走査方法

次に直射及び一回反射の走査範囲を決定する。ここでは、測定した探触子の屈折角から、

$$\text{直射の探傷範囲 } y = 25t \times \tan \theta,$$

$$\text{一回反射の探傷範囲 } y = 2 \times 25t \times \tan \theta$$

で求める。卓上に準備されているチョークで試験体にマークする。探傷は、接近限界から探触子の入射点が直射の走査ラインを超える範囲までを前後走査する。さらに 5 mm 程度のピッチでジグザグ走査を交えた左右走査で試験体を探傷する。

一回反射の走査範囲では距離による減衰が大きいため、JIS Z 3060 に規定された探傷を行うには探傷感度を 12dB 高めなければきずの検出が困難となる。

検出したきずの測定は、垂直探傷の項と同様に、探触子の持ち替えをしないように、探傷と測定の手順をマスターしておくことが大切である。