

ST レベル 2 一般・専門試験のポイント

ST (ひずみゲージ試験) レベル 2 の一次試験は、主として電気抵抗ひずみ測定に関する一般試験と専門試験で構成されている。それぞれの問題数は JIS Z 2305-2013 の改正に伴い、従来の 30 問から 30 問以上と変更された。試験時間は全部で 2 時間である。すでに NDT フラッシュ欄 Vol.66, No.5, 2017 では、一般試験のポイントについて、NDT フラッシュ欄 (Vol.60, No.8, 2011) では専門試験のポイントについて解説されている。ここでは、一般試験と専門試験について、以前に取り上げられなかった重要な問題の類題について解説する。

一般試験の類題

問 1 鋼材料の横弾性係数(剛性率)は、縦弾性係数(ヤング率)の 3/8 程度になる。縦弾性係数が 208 GPa の鋼製の車軸がねじり荷重をうけているとき、この表面に生じているせん断ひずみを測定したところ、 1000×10^{-6} であった。この点のせん断応力を、次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 78 MPa (b) 90 MPa
- (c) 156 MPa (d) 180 MPa

正答 (a)

この問題はねじり荷重におけるせん断応力—せん断ひずみ ($\tau-\gamma$) 関係を問うものである。すなわち、車軸の弾性域におけるせん断応力—せん断ひずみ関係は、フックの法則より次式で与えられる。

$$\tau = G \gamma$$

ここで、 G は横弾性係数である。いま、題意よりこの横弾性係数 G が縦弾性係数 E の 3/8 程度となるから

$$G = (3/8) E = (3/8) \times 208 = 78 \text{ GPa}$$

となる。したがって、車軸に生じたせん断応力(ねじり応力)は

$$\tau = G \gamma = 78 \times 10^3 \times 1000 \times 10^{-6} = 78 \text{ MPa}$$

となり、正答は (a) となる。

問 2 両端で単純支持された断面係数 $7.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ の一様なはりがか上から垂直荷重を受けたとき、ある断面での曲げモーメントが 300 kN・m になった。この断面の上面における曲げ応力を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- (a) -400 MPa (b) -150 MPa
- (c) 225 MPa (d) 400 MPa

正答 (a)

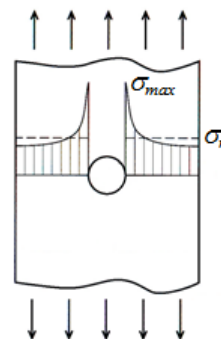
これは典型的なはりの曲げ問題であり、関連問題がよく出題されている。このはりの曲げ問題における次の重要な弾性曲げの公式は、記憶しておく必要がある。

$$\sigma = \pm \frac{M}{Z}$$

ここで、 σ は上下面における曲げ応力、 M は断面に作用する曲げモーメント、 Z は断面係数である。与えられた数値を上式に代入すると

$\sigma = \pm 300 \times 1000 / 7.5 \times 10^{-4} = \pm 400 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
 題意よりはりの上面は圧縮の曲げ応力になるので、符号はマイナスをとり $\sigma = -400 \text{ MPa}$ となる。したがって、正答は (a) となる。 $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$, $10^6 \text{ Pa} = 1 \text{ MPa}$ の単位換算も知っておく必要がある。

問 3 下図に示すような縦弾性係数 $E = 70 \text{ GPa}$ なる円孔を有するアルミニウム合金の帯板が、引張の平均応力 $\sigma_n = 21.0 \text{ MPa}$ を受けたときに、円孔縁で最大ひずみ $\epsilon_{\max} = 720 \times 10^{-6}$ が測定された。この場合の応力集中係数値を次のうちから一つ選び、記号で答えよ。



- (a) 1.2 (b) 2.4 (c) 4.8 (d) 9.6

正答 (b)

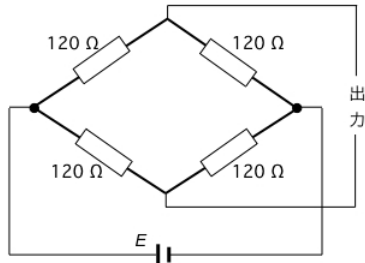
この問題は、応力集中係数の定義を問う問題である。応力集中係数 α は、次式で与えられる。

$$\alpha = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n}$$

ここで、 σ_{\max} は最大応力、 σ_n は平均(公称)応力である。円孔縁で発生した最大ひずみから、フックの法則により最大応力は $\sigma_{\max} = E \epsilon_{\max} = 70 \times 10^3 \times 720 \times 10^{-6} = 50.4 \text{ MPa}$ となる。したがって、応力集中係数 $\alpha = 50.4 / 21.0 = 2.4$ となり、正答は (b) となる。

専門試験の類題

問 4 下図のような抵抗 120Ω のひずみゲージ 4 枚で構成されたブリッジ回路に 2.4 V の電圧 E をかけたとき、1 枚のひずみゲージに流れる電流の値を、次のうちから一つ選び、記号で答えよ。



- (a) 10 mA (b) 12 mA
- (c) 20 mA (d) 24 mA

正答 (a)

ブリッジ回路に関する代表的な問題である。電流値を求める前に、まず回路全体の合成抵抗値 R を計算する。上図を見ると 120Ω をもつ 2 つの抵抗が直列で接続され、それらがさらに並列に接続されているので、合成抵抗の公式から

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{120+120} + \frac{1}{120+120}$$

となり、 $R = 120 \Omega$ と求まる。全体の電流値は、オームの法則から $I = E/R = 2.4/120 = 0.02 \text{ A}$ となる。全体の電流値は、上下の同じ並列抵抗 (240Ω) に分かれて流れるので、1 枚のゲージ抵抗にはその電流値の半分の $0.01 \text{ A} = 10 \text{ mA}$ が流れ、正答は (a) となる。回路全体に流れる電流値と間違わないように注意する必要がある。

問 5 ひずみゲージによるひずみ測定で、荷重や環境条件が一定であるにもかかわらず、時間とともに測定値が変化する現象が生じた。このような現象を何と呼ぶか、次のうちから正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) ゲージクリープ (b) ひずみゲージの非直線性
- (c) 温度ドリフト (d) ゲージヒステリシス

正答 (a)

荷重一定なので、(b) ひずみの非直線性ではない。温度一定の環境下にあるので、(c) 温度ドリフトでもない。またゲージにひずみサイクルを与えていないので、(d) ゲージヒステリシスでもなく、荷重や環境温度を一定に保っていて、時間経過とともに指示ひずみ変動する現

象は、ゲージクリープと呼ばれる。したがって、正答は (a) である。この主因としては、ゲージベース材料や接着層の粘弾性によるものが多い。

問 6 自己温度補償ゲージについての次の記述のうち、正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) このひずみゲージは、その試験体の線膨張係数を考えて、温度による見かけひずみをほぼ零にしているため、どんな試験体でも適用できる。
- (b) このひずみゲージは、必ずダミーゲージと一緒に使用しなければならない。
- (c) 試験体の線膨張係数とゲージ抵抗体の抵抗温度係数及び線膨張係数との関係を考慮して、熱出力をほぼ零にしたひずみゲージである。
- (d) このひずみゲージは、温度による見かけ出力をほぼ零にするように設計されているため、3 線式結線法を使用する必要はない。

正答 (c)

ひずみゲージの測定誤差の大きな要因としては、熱出力 (温度変化によって生じる見かけのひずみ) がある。熱出力とは試験体を拘束しない状態で、均一な温度変化を与えた場合に生じる見かけのひずみ ϵ_T は、一般的に次のように表せる。

$$\epsilon_T = \frac{\{\beta_g + K_T(\alpha_s - \alpha_g)\} \Delta T}{K_m}$$

ここで、 β_g : ゲージ抵抗体の抵抗温度係数、 α_s : 試験体の線膨張係数、 α_g : ゲージ抵抗体の線膨張係数、 K_T : 温度 T におけるゲージ率、 K_m : 測定器で設定したゲージ率、 ΔT : 温度変化量

見かけのひずみが生じないためには、上式から

$$\{\beta_g + K_T(\alpha_s - \alpha_g)\} = 0$$

の関係が常に成立する必要がある。すなわち、 $\beta_g = K_T(\alpha_g - \alpha_s)$ となるようなゲージ抵抗体を使用したひずみゲージを選択すればよいが、 β_g の値は試験体の α_s の値にも依存する。この考察に基づくと、正答は (c) となる。(a) はどんな試験体にも適用できるは間違いで、特定の試験体しか使用できない。(b) はダミーゲージの使用を必要とするも、間違いである。温度変化により生じるリード線の抵抗値変化により見かけのひずみが生じるため、自己温度補償ゲージも 1 ゲージ 3 線式結線法で使用する必要がある。したがって、(d) も間違いである。

技術者ウォッチング

このコーナーは非破壊試験技術者として活躍されている技術者をご紹介します。

今回は中村 和夫さんをご紹介します。中村さんには資格取得についての回顧をいただきました。

私は、入社後すぐに JSNDI の資格取得に取り掛かり、6年後には、6種目（取得順に RT, PT, SM, MT, UT, ET）すべての1級（当初は非破壊検査技術者技量認定規程:1968 制定、後に NDIS 0601:1977）を取得していました。当時は、「3年後と6年後に書換え、9年後に更新試験」と規定されていて資格の維持にやや余裕がありましたが、NDIS 0601:1988 では、「3年後に書換え、6年後に更新試験」に改正され、更新試験の受験が忙しくなりました。

ところで、私が最初に取得したのは RT の資格でした。当時は RT の仕事が多く、多くの資格者が必要とされていました。受験のための講習会に会社も力を入れており、私は早くからこの講師を命じられました。人に教える立場になって、如何に分かりやすく正確に知識を伝えるかを常に考えていました。用語一つ間違えることはできません。なぜこれが正解なのかを理解してもらうには、「表面上の教える事の10倍の知識が必要だ」とつくづく思いました。必然的に、JSNDI 編の参考書の行間を読むような勉強方法が習慣となりました。今では、インターネットで楽に調べることができますが、一つのことをいろいろな角度から見た説明がありますので、取捨選択して、自分が分からないことが分かる参考書を見つけるのも勉強のポイント（楽しみ）の一つかも知れません。

ここで、資格試験を受けた当初の失敗から学んだ教訓を挙げさせていただきます。

1. 試験時間内に解答できなければならないこと。

RT-1 級を受験したときのことで。問題集にない問題でした。現在の問題集にある「厚さの差がある試験体の透過写真の濃度範囲を規定範囲内にするために許容できる露出量の変動は？」でしたが、初めて見る問題で、問題の意味を理解するのがやっとなで、残念ながら試験会場では解けませんでした。

2. 問に的確に答えること。

四十年ほど前、今のようにマークシートに解答する形式ではなく直接文言を解答欄に記入する形式だった頃のことです。透過写真の観察記録に記入し全部できたと確信していましたところ、二次試験（その当時は口述試験



氏名：中村 和夫（67）、博士（工学）

経歴：1974年 九州工業大学金属工学科卒業

1976年 九州工業大学工学研究科修士課程修了

1976年 非破壊検査株式会社入社

2014年 非破壊検査サービス株式会社 代表取締役
保有資格：

- ・ JSNDI 資格：総合管理技術者、RT3、UT3、MT3、PT3、ET3、ST3
- ・ JSNDI 資格以外：WES-1 級、RI-1 種

があった) の場で試験官から、

『増感紙の箇所が間違っていました。』

『ハテ?』とっていると、

『ここは、【なし】と記入すべきでした。』

とのこと。

増感紙を使わない条件だったので何も記入しなかったのですが、無解答と判断され減点されました。

3. 必ず独力で解答できることを確認しておくこと。

ある日、初めて行く場所へ、誰かに同行してもらったりスマホの地図を見ながらたどり着けたとします。後日、誰かの同行やスマホ無しで行こうとしたらたどり着けるでしょうか。案外、迷うものです。これと同じで、講習会などで講師から説明され、その場で『分かった!』と思っても、試験会場で、同じ問題にいざ取り掛かろうとするとできないことがあります。自分自身で一から考えてできなければなりません。

4. 基礎的なことは正確に覚えておくこと。

用語の定義の意味を理解した上で憶えておくこと。また、関連 JIS は読みこなして規定内容を憶えておくこと。考えても分かりません。これと同じで、レベル2を受験するときはレベル1の参考書と問題集の復習、レベル3を受験するときはレベル1とレベル2の参考書と問題集の復習をしました。意外と忘れていたこと、勘違いしていることがあるものです。

これらの教訓は、ここ数年間に受験した JIS Z 2305 認証システムの再認証試験の際も役立ちました。

皆様のご健闘をお祈りいたします。

技術者ウォッチング

このコーナーは非破壊試験技術者として活躍されている技術者をご紹介します。

今回は末包享志さんにご登場いただき、会社ならびにご自身についてご紹介いただきました。

会社概要について（設立：平成9年4月18日）

事業内容：構造物の検査・探査・調査・診断業務
 本社：香川 営業所：岡山・広島・福岡・愛媛・島根
 総勢87名

社内でのレベル3など資格保有者数について

- ・日本非破壊検査協会（JSNDI）（保有者50名）
 総合管理・全種目レベル3取得2名、4種目レベル3取得1名、3種目レベル3取得2名、2種目レベル3取得3名、1種目レベル3取得4名、他レベル2及びレベル1取得延126名
- ・他23機関で、保有者77名が総数875個、1名平均10個以上を取得しています。私は「石橋を叩いて渡らなくても良いが転ばぬ先の杖は何本も用意しろ」で現在杖は30本保持しています。

私の業務内容・業務経歴(実績など)について

非破壊検査一筋で、大学卒業後に大阪府の日本溶接検査(株)（現：日本インスペックス(株)）に昭和52年4月入社し各種プラント・海洋構造物の検査に従事しました。音響異方性が未公表の時の検査も経験しました。昭和58年12月に退職し、香川県の建築鉄骨非破壊検査が主体の日本溶接検査(株)（現在廃業）に翌年1月に入社しました。阪神淡路大震災が発生した春に呼ばれたJSNDIUT指導員は大阪に行くことは出来ましたが、帰りの便が一日空いて天保山から出る高速艇しかなく待ちの一日で神戸まで遠出し散策しましたが、倒壊した鉄骨造の殆どが施工不良で、当時鉄骨の第三者検査を実施している身に衝撃でした。その半年後、阪神高速神戸3号線のPC構造物復旧工事（レーダ探査技術研究会）で日本超音波試験(株)（現：(株)ジャスト）の当時代表と各工事事務所回りをし、土木の現状を把握しました。その結果、一度しかない人生に悔いの無い仕事をと決心し、平成9年3月退職し4月に(株)ジャスト四国(代表取締役)を設立し、広島に営業所を出し、社名を(株)ジャスト西日本に変更し営業所を増やしつつ現在に至っています。会社設立後は「あらゆる構造物の検査・探査・調査・診断」を非破壊検査+αで進めています。現在は+αであるインフラ整備関連の調査・診断が割合を伸ばしつつあります。

自身の教育活動を含む社外活動について

- ・JSNDI 四国支部設立準備委員
- ・JSNDI U 専門委員会委員 講師・指導員
- ・JSNDI 超音波部門幹事
- ・JSSC 建築鉄骨検査実技講習 講師
- ・鉄筋継手検査業協会 四国支部長
- ・CIW 検査業協会 契約適正化推進実行委員
 中国・四国地区委員長
- ・四国職業能力開発大学校 JSNDI 関連外部講師



氏名：末包 享志（すえかね たかし）（65）
 所属：(株)ジャスト西日本 代表取締役
 保有資格(JSNDI)：総合管理技術者、全種目レベル3
 保有資格(JSNDI 以外)：CIW:検査技術管理者、
 上級検査技術者 R,U,M,P,E 部門、WES 特別級、
 コンクリート診断士、他合計30種類

非破壊検査技術者としての自負

高校生時代が国家資格に挑戦する環境であったことから資格取得＝仕事感が植え付けられました。社会人になって初めて非破壊検査を知り、5年ぐらいで特級（現総合管理）が取れるかなと安易に思いましたが実際には倍の10年かかりました。4種目1級の受験資格で特級を取得した後、故秋園先生の高松の講演会で「会場には特級が何名も来られているが検査会社の中には全種目1級の特級も何人も居る」を聞き、1年後には残りの2種目も1級を取得しました。溶接協会の溶接構造物非破壊検査事業者認定（CIW）を目指す一環で、同時に検査技術管理者及び全種目上級検査技術者を取得しました。溶接協会の30周年記念式典において15種類の資格保持者として12名中の1名として表彰を受けたのは良い思い出です。尚、このCIWは会社設立後に受け直して、今度はCIW認定A種を取得するのが目的で、14種目を取得して満足としました。結果的に検査会社2社をA種認定に育てた事になりましたが、感慨深いものがあります。

新卒採用活動で強く感じること

学生が望む企業は「給料が高く休日が多く残業が無く出張も無い」が条件であり、会社に入って資格を取らなければいけないのは嫌だと避けられるのが現実です。資格取得が大前提という非破壊検査業界が如何に生き残るか大きな課題があると判断しています。特に弊社では24機関(団体)の発行する資格を社員に取得させるよう教育・訓練をしていますがJSNDI資格は特異な再認証制度になったことも有り努力・費用対効果の程度が低いと感じることも人材確保にマイナス要因かなと思っています。

若手の指導や技術伝承について

「石橋を叩いて・・・」で社内環境を常に整備し続けることが結果として若手の指導や技術伝承に繋がると判断しています。これは現在準備しているJSNDIの5番目の支部となる四国支部設立により、弊社旧社屋が講習会場となり更に四国内全域に広げられると考えます。

若手への期待

非破壊検査+αの技術情報が社内に混在していることからこの環境で育った技術者がどのように会社の将来を導いてくれるか楽しみにしています。