

2011年度

(社) 日本材料学会 技能検定試験

技能種別：疲労試験



2011年9月22日(木)

13:30-15:00

日本材料学会 3階 会議室

**1級受検者は全問解答し、2級受検者は
問1～問16のみを解答すること。**

【問1】疲労試験片に関する下記の記述の中で、間違っているものを選択せよ。

- (1) 環状 V みぞ付き丸棒試験片の寸法は、最小径 d に対して最大径 D は 1.5 倍が JIS 規格で推奨されている。
- (2) 平板の 1 号試験片の両板面は、原則として 320 番より細かい研磨布紙を使用しなければならないが、必要があれば仕上げをしなくてもよい。
- (3) 平板の 1 号試験片の R 部は、レーザーカットで加工し、両側面の縁部に半径 0.1mm 程度の丸みをつければよい。
- (4) 丸棒の 1 号試験片の断面標準寸法が 10mm であるとき、分解能 0.02mm のノギスを使用して試験片の断面寸法を測定してもよい。
- (5) 丸棒の 1 号試験片の平行部が一律な応力を受ける場合には、試験片の断面直径は数カ所で測定した直径の最小値を採用すれば、同一断面の互いに直交する 2 方向について測定した算術平均を採用しなくてもよい。

【問2】0.2%耐力 1500MPa、引張強さ 2000MPa の高強度鋼で両振りの引張圧縮疲労試験を行ったときの疲労限度は 800MPa であった。この材料が安全に使用できる応力範囲を疲労限度線図で推定したとき、安全な範囲にある使用条件を以下から選択せよ。

- (1) 平均応力 1600MPa、応力振幅 100MPa
- (2) 平均応力 1200MPa、応力振幅 450MPa
- (3) 平均応力 500MPa、応力振幅 650MPa
- (4) 平均応力 -200MPa、応力振幅 900MPa
- (5) 平均応力 -500MPa、応力振幅 950MPa

【問3】文中の空欄(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)、(オ)に入る最も適当な言葉の組合せを(1)~(5)の中から選択せよ。

疲労試験において、ばらつきのある破断繰返し数を統計的に整理し、評価する場合、
[(ア)] を関数とした $S-N$ 曲線、すなわち [(イ)] を利用する。
[(ア)] を求める手法としては、[(ウ)]、[(エ)]、[(オ)] があり、
それぞれ以下の式で求められる。ここで $F(i)$ は、ある応力振幅における破断寿命を小さい方から順に並べた場合の i 番目の寿命 N_i に対する [(ア)] であり、 n はその応力振幅での試験片の数である。

(ウ)	$F(i) = i/(n+1)$
(エ)	$F(i) = (i-0.3)/(n+0.4)$
(オ)	$F(i) = (i-0.5)/n$

- (1) (ア)破壊確率 P 、(イ) $P-S-N$ 曲線、(ウ)平均ランク法、(エ)メテアランク法、(オ)対称試料累積分布法
- (2) (ア)疲労寿命 N_f 、(イ) N_f-S-N 曲線、(ウ)平均ランク法、(エ)メテアランク法、(オ)対称試料累積分布法
- (3) (ア)疲労寿命 N_f 、(イ) N_f-S-N 曲線、(ウ)対称試料累積分布法、(エ)メテアランク法、(オ)平均ランク法
- (4) (ア)時間強度 σ 、(イ) $\sigma-S-N$ 曲線、(ウ)対称試料累積分布法、(エ)メテアランク法、(オ)平均ランク法
- (5) (ア)破壊確率 P 、(イ) $P-S-N$ 曲線、(ウ)メテアランク法、(エ)対称試料累積分布法、(オ)平均ランク法

【問4】疲労試験機の荷重検定、較正に関する説明について、不適切なものを1つ選び、その番号を示せ。

- (1) 疲労試験機の動的荷重検定については、現状ではJISで規定されていない。
- (2) 油圧サーボ疲労試験機では、一軸試験機とみなしてJIS B7741に従って静的荷重検定を行うことができる。
- (3) 回転曲げ疲労試験機は、検定や較正が要らない試験機である。
- (4) 疲労試験機の荷重較正は1年毎に行うことが推奨される。
- (5) 試験結果を保証するためのトレーサビリティ体系では、疲労試験機の較正に用いる計測器類も較正されていることが求められる。

【問5】荷重負荷装置の作業に係る安全規範について、正しいものを以下の(1)~(5)から1つ選択し、番号を示せ。

- (1) 試験片を治具にしっかり固定していることを確認し、使用前点検を任意に実施する。
- (2) 保護カバーを設置すると同時に、必要があれば試験片の飛散方向に立入禁止の措置をとる。
- (3) アクチュエータの動作範囲に手を入れない。やむを得ずアクチュエータの動作範囲に手を入れる場合には、動作範囲を制限するリミッターを設定する。
- (4) 装置の状態により、十分に異音や温度上昇を監視する。
- (5) 作業後には、駆動部の停止を確認する。また、試験片の取外し時には、残留エネルギーに注意する。

【問6】疲労試験装置の日常点検および安全装置については注意すべき点がいくつか挙げられる。以下の文で適切でない記述はどれか。番号で示せ。

- (1) 運転前に電源がOFFになっていることを確認し、点検表による確認と記録をする。
- (2) 点検表は、点検項目を示すとともに点検結果を記録するようにする。
- (3) 非常停止装置のボタンは、赤色で目立つ位置に設置する。
- (4) 試験装置の運転中は適時、異音、異臭、振動、温度異常の有無を点検する。
- (5) 安全装置をむやみに作動させると故障する恐れがあるため極力点検しない。

【問 7】引張圧縮疲労試験などで用いられる電気油圧サーボ疲労試験制御装置の保守点検方法として不適切だと考えられるものを選べ。

- (1) 保守時は必ず制御装置の電源を切っておこなう。
- (2) コネクタの接触部であるピンやソケットの金属部分をアルコールで清掃する。
- (3) 端子盤をチェックし、腐食していればその部分を軽く研ぎアルコールで清掃する。
- (4) スイッチ類は切り替え動作を数回繰返す。
- (5) 調整用可変抵抗器も含め、可変抵抗器はつまみを左右に回し切る動作を数往復おこなう。

【問 8】電気油圧サーボ式軸力制御試験機を用いた疲労試験を行うに際して、試験機の油圧源のポンプを始動し、制御をサブコントロールにして試験片を試験機に装着し、試験開始前の温度と湿度を計測した。それ以降の試験手順として最も適切なものを、(1)～(5)の中から選択せよ。

- (1) (a) → (b) → (c) → (d) → (e) の順
- (2) (a) → (c) → (d) → (e) → (b) の順
- (3) (a) → (d) → (b) → (e) → (c) の順
- (4) (d) → (a) → (c) → (b) → (e) の順
- (5) (d) → (a) → (b) → (e) → (c) の順

なお、上記アルファベットの記号の表す内容は以下のとおりである。

- (a) 制御装置を始動させ、所定の繰返し負荷を試験片に加える。
- (b) 試験片が破断した後、制御をサブコントロールに切り替えて、アクチュエータを最下部に下げる。
- (c) 油圧源の圧力を 0 にし、油圧源のポンプを停止する。
- (d) 制御をメインコントロールに切り替える。
- (e) 下側破断試験片、上側破断試験片の順に、それぞれ試験片をつかみ具から取り外す。

【問 9】同一の公称応力条件下で行う各種疲労試験において、一般的な疲労強度の大小関係が正しいものを選択せよ。

- (1) JIS 丸棒 1 号試験片の回転曲げ > JIS 丸棒 1 号試験片の引張圧縮
- (2) 直径の太い試験片の回転曲げ > 直径の細い試験片の回転曲げ
- (3) 表面粗さの大きい試験片の回転曲げ > 表面粗さの小さい試験片の回転曲げ
- (4) JIS 環状 V みぞ付き試験片の回転曲げ > JIS 丸棒 2 号試験片の回転曲げ
- (5) 普通熱処理材の引張圧縮 > 浸炭熱処理材の引張圧縮

【問 1 0】金属材料の疲労破面の特徴に関する以下の記述の中で間違っているのはいずれか。該当する番号を示せ。

- (1) 疲労破面は負荷方向（主応力方向）に垂直な平面状に進展する傾向があるが、進展の中盤以降において表面近傍でせん断型破壊に起因するシャーリップと呼ばれる傾斜部を呈することがある。
- (2) 疲労破面には繰返し負荷の 1 回ごとに進展したき裂前縁に対応するストライエーションと呼ばれる条痕が形成されるが、このストライエーションは一般に鉄鋼材料より延性を備えたアルミニウム合金の方が鮮明に現れる。
- (3) 疲労破面上にはき裂進展速度が途中で変化することにより砂浜の波模様（ビーチマーク）、あるいは貝殻状模様（シェルマーク）が形成されるが、このような模様は肉眼では見えないので、SEM 等の顕微鏡を用いて観察される。
- (4) ストライエーション間隔は、その時点でのき裂進展速度を与える。
- (5) 疲労き裂進展初期に比較して、進展の後期段階ではき裂進展速度が速くなり、破面の凹凸は一般に増大する傾向がある。

【問 1 1】以下の説明について、間違っているのはいずれか。その番号を示せ。

- (1) 疲労限度は鉄鋼材料で顕著に現れるが、非鉄金属では必ずしも明確な疲労限度が現れないことが多い。
- (2) 疲労強度の寸法効果として、試験片のサイズが大きくなるほど疲労強度は低下するが、この傾向は寸法が大きくなるほど緩やかになる。
- (3) 設計の立場からすれば、疲労限度線図における修正グッドマン線は、ゾーデルベルク線より安全側の基準を与える。
- (4) コフィン–マンソン則の式中に現れる $\Delta\epsilon_p$ は、繰返し応力–ひずみ線図のヒステリシスループにおける横軸上の交点間の幅を意味する。
- (5) 疲労破面上で観察されるストライエーションとは、疲労き裂が繰返し負荷の 1 回ごとに進展したき裂前縁の痕跡として形成される。

【問 1 2】JIS B7721「引張・圧縮試験機—力計測計の校正・検証方法」において規定されている試験機の力計測系に関する検証法として、誤っているものを以下の中から 1 つ選んで番号を示せ。

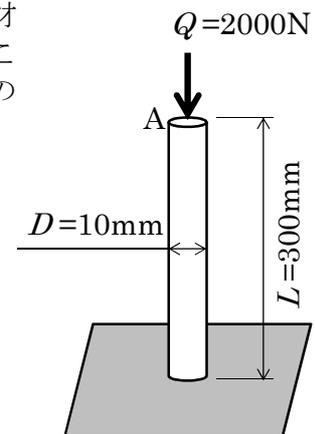
- (1) 真の力を測定する手段として、JIS B7728 に規定された力計を用いる。
- (2) 力計と試験機の力指示計表示の記録は、測定範囲の 0～100%間を 5 分割以上した力レベルで行なう。
- (3) 検証を行なう環境(周囲)温度は、10～35℃の範囲とする。
- (4) 油圧式試験機の場合は、油圧ピストン位置による差を把握するため、4 箇所以上の異なるピストン位置で測定を行なう。
- (5) 力計と試験機の力指示計表示の記録は、測定範囲の 0～100%間を 3 回繰り返して行なう。

【問 1 3】 疲労破面の様相に関する以下の記述の中で、間違っているのはいずれか。番号で答えよ。

- (1) 金属材料の疲労き裂は切欠き部の表面に発生することが多く、疲労破面を肉眼で観察すると起点部付近では比較的平坦であり、き裂進展とともに凹凸が顕著になる傾向がある。
- (2) 金属材料の疲労破面を肉眼で観察したとき、疲労き裂の進展段階で負荷応力や試験環境が変化することに起因して、き裂前縁の痕跡が幾段も残る結果、貝殻状模様またはビーチマークと呼ばれる特徴的な模様を呈することが多い。
- (3) 表面で複数のき裂が発生した場合、各き裂は同一平面上にないので、き裂進展過程でこれらが連結・合体するとき段差が発生するが、き裂進展とともに段差は小さくなり、やがてこの段差は消えて単一のき裂面となる。
- (4) SEM 観察で疲労破面上にストライエーションが観察された場合、この条痕は応力の上昇過程と下降過程でき裂が順次進展したことを意味し、ストライエーション間隔の 2 倍が負荷 1 サイクル中のき裂進展量になる。
- (5) 疲労破面上のストライエーションは常に観察できる訳ではなく、一般に延性を備えた金属材料では現れやすく、脆性材料については不明瞭になる傾向がある。

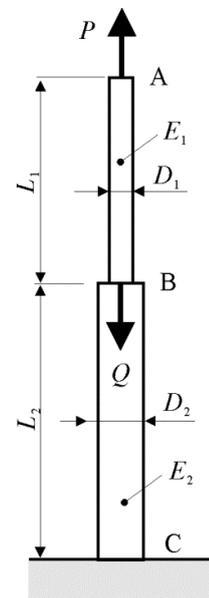
【問 1 4】 直径 $D=10\text{mm}$ 、長さ $L=300\text{mm}$ の丸棒がある。この丸棒材に対して図のように A 点に $Q=2000\text{N}$ の力を負荷させた場合に、この負荷によって点 A が下に移動する量を求めよ。ただし、丸棒材のヤング率を $E=200\text{GPa}$ とする。

- (1) 9.55 mm
- (2) 9.55 μm
- (3) 318 mm
- (4) 38.2 μm
- (5) 0.382 mm



【問 1 5】 直径 $D_1=10\text{mm}$ 、長さ $L_1=100\text{mm}$ の棒 AB と直径 $D_2=20\text{mm}$ 、長さ $L_2=300\text{mm}$ の棒 BC を B 点で接合した。この棒材に対して図のように B 点に 2000N の力を負荷させた場合に、点 A が力を加える前の位置から動かないために必要な力 P の大きさを求めなさい。棒 AB のヤング率を $E_1=200\text{GPa}$ 、棒 BC のヤング率を $E_2=100\text{GPa}$ とする。

- (1) 857 N
- (2) 1200 N
- (3) 3000 N
- (4) 6000 N
- (5) 1200 kN



【問 1 6】降伏応力が十分高い横弾性係数 $G=77\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ の金属材料で、断面積が 100mm^2 、長さが 400mm の丸棒がある。これをある力で引っ張った時、 0.2mm の伸びが生じた。以下の二つの問いについて、正しい記述の組合せを選択しなさい。

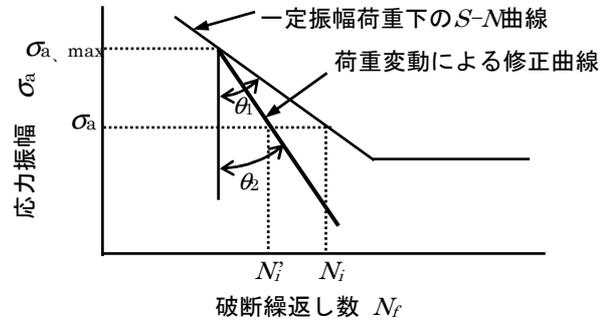
- a) このときの引張り力を求めよ。
- (A) 5kN
 - (B) 10kN
 - (C) 20kN
 - (D) 30kN
 - (E) 50kN
- b) このときの丸棒の直径変化として正しいのはどれか。
- (a) 約 $2.1\mu\text{m}$ 増える
 - (b) 約 $1.7\mu\text{m}$ 増える
 - (c) 変化しない
 - (d) 約 $1.7\mu\text{m}$ 減る
 - (e) 約 $2.1\mu\text{m}$ 減る

- (1) A および e
- (2) B および d
- (3) C および c
- (4) D および b
- (5) E および a

***** (2級受検者はここまで / 1級受検者は最後まで解答) *****

【問 1 7】 応力振幅や平均応力が頻繁に変動する実働荷重においては、一定振幅荷重下の $S-N$ 曲線を用いた線形累積損傷則では疲労寿命を過大に評価する場合がある。そのため下図に示すように変動荷重に含まれる最大の応力振幅 $\sigma_{a, \max}$ の点を基準として、この点から修正係数 $\beta (= \tan\theta_2 / \tan\theta_1)$ を用い、一定振幅荷重下の $S-N$ 曲線より傾きの急な新しい $S-N$ 曲線を求め、これにより各応力レベルに対する破断繰返し数 N_i' を見積り、線形加算により累積損傷値を求める方法が提案されている。その方法は何と呼ばれているか。以下の中から選んで番号を示せ。

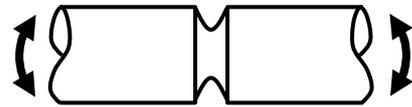
- (1) 修正マイナーの方法
- (2) ハイバツハの方法
- (3) フロイデンタールーヘラーの方法
- (4) コーテンドランの方法
- (5) マンソン-コフィンの方法



【問 1 8】 引張強さ $\sigma_B = 800 \text{ MPa}$ の合金鋼で製造された環状 V 型切欠き付丸棒に、回転曲げ負荷が 10^7 回以上作用する場合、公称応力振幅は最大何 MPa まで許容できるか。正しいものを下記の(1)~(5)より選択せよ。なお、疲労限度のデータは与えられておらず、引張強さから疲労限度を推定して許容応力を算出せよ。

ここで、環状 V 型切欠き付丸棒の切欠き係数 β は 2.2 とし、寸法効果による疲労限度の低下率 ζ_1 は 0.95、表面性状による疲労限度の低下率 ζ_2 は 0.9 とする。また、作用応力に関する安全率 f_s は 1 とし、疲労限度に関する安全率 f_m は 2 とする。

- (1) 38.9 MPa
- (2) 77.7 MPa
- (3) 81.8 MPa
- (4) 86.4 MPa
- (5) 90.9 MPa



回転曲げ負荷を受ける環状 V 型切欠き付丸棒

【問 1 9】 降伏応力が 300 MPa、また引張強さが 400 MPa で、完全両振り ($R = -1$) の場合の疲労限度が 200 MPa の鉄鋼材料がある。疲労限度に対する平均応力の影響は修正グッドマン線図により考えず、平均応力値が 100 MPa の場合に使用可能な最大応力振幅を、以下の(1)~(5)の中から選択せよ。

- (1) 300 MPa
- (2) 200 MPa
- (3) 150 MPa
- (4) 100 MPa
- (5) 50 MPa

【問 2 0】 下記に示す各種の要因の中で、疲労強度の向上をもたらす可能性がある事柄を選択し、番号を示せ。

- (1) 密着性が高く、母材よりもヤング率が低い表面層の形成
- (2) 製品の寸法を比例的に大きくした場合
- (3) 表面に発生した引張の残留応力
- (4) 環状切欠きの導入
- (5) 平面曲げ疲労試験時の 100 MPa の平均応力

【問 2 1】 図 1 に示すような応力集中部を有する構造（材料：鉄鋼材）に、両振り繰返し状態の全ひずみ振幅 2500 マイクロストレインが作用している。この応力集中部において、き裂が発生した時点を破壊とした場合、設計寿命 5 千回に対してひずみ側の安全率は以下の(1)～(5)のいずれになるか答えよ。なお疲労強度は、以下の表 1 に示す機械的性質を用いて、マンソンの共通勾配法で推定せよ。ここで、ヤング率は 200GPa、真破断延性 ϵ_f は式(A)を用いて求める。

- (1) 1.25
- (2) 1.66
- (3) 2.66
- (4) 3.32
- (5) 4.32

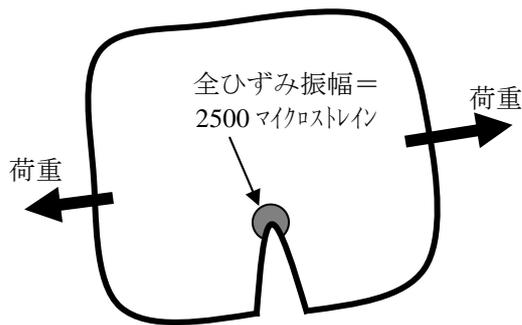


図 1 応力集中部を有する構造

表 1 構造材料の機械的性質

降伏応力 σ_y (MPa)	引張強さ σ_b (MPa)	伸び δ (%)	絞り ϕ (%)
260	410	26.0	60.0

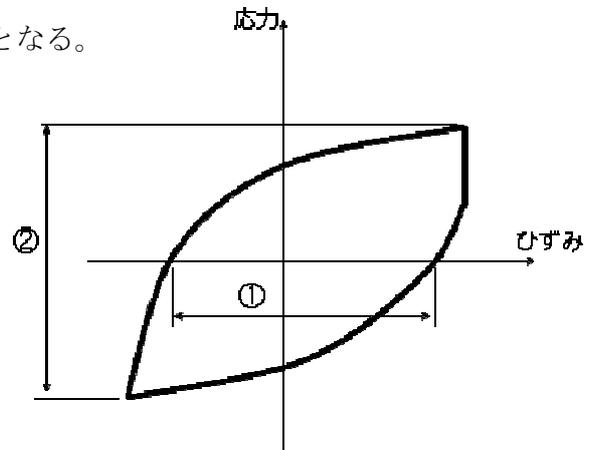
$$\epsilon_f = \ln\left(\frac{100}{100 - \phi}\right) \quad (A)$$

【問 2 2】 疲労限度に関する説明について誤っているものを一つ選びなさい。

- (1) 疲労限度（耐久限度）は、無限の繰返しに耐える応力の上限值である。鉄鋼材やチタン合金材に見られる現象で、アルミ合金材や銅合金材では見られない。また、鉄鋼材に関しても、高温環境下や腐食環境下では見られない。
- (2) 鉄鋼材の疲労限度は引張り強さや硬さと比例関係にある。ただし、引張強さが 1100MPa を超える場合やビッカース硬さが 400 を超える場合は、材料内の介在物などが原因で疲労限度のばらつきが大きくなる。
- (3) 疲労限度は応力集中の影響で、平滑材の疲労限度より低下する。この低下比率を切欠き係数 K_f と呼ぶ。 K_f は（平滑材の疲労限度 / 切欠き材の疲労限度）で表示される。一般に切欠き係数は応力集中係数 K_t より小さく、 $K_f < K_t$ の関係にある。
- (4) 疲労限度は、一般に寸法の大きい試験片の方が低い値を示す。これを寸法効果という。寸法効果の要因は、「応力勾配に関連した力学的要因」と「高応力を受ける表面積や体積に関連した統計的要因」のふたつがある。これらの要因は応力状態に関係なく同じように影響する。
- (5) 疲労限度は引張平均応力に影響されて低下する。疲労限度と引張平均応力の関係を示した線図に Gerber 線図、修正 Goodman 線図および Soderberg 線図などがあり、多くの材料が Gerber 線図もしくは修正 Goodman 線図に従うことが知られている。

【問 2 3】 以下の応力-ひずみヒステリシス線図の説明として不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) ①は弾性ひずみ範囲である。
- (2) ②をヤング率で割ると弾性ひずみ範囲となる。
- (3) 試験は、ひずみ制御で行なわれている。
- (4) 高温での試験のものである。
- (5) 平均応力はほぼゼロである。



【問 2 4】 フレッチング疲労の影響因子の組合せとして不適切なのは、次の内のいずれか。その番号を示せ。

- (1) 機械的因子-摩擦係数
- (2) 材料因子-試験材の材質
- (3) 材料因子-相手材の材質
- (4) 荷重条件-面圧
- (5) 化学的要因-雰囲気

