

2012年度

(社)日本材料学会 技能検定試験

技能種別：疲労試験



2012年9月28日(金)

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】代表的な疲労試験機である回転曲げ疲労試験機に関する下記の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 丸棒試験片に一定の曲げモーメントを負荷した状態で試験片を回転させる。
- (2) 試験片の表面で、応力の正負が回転とともに反転し、中立軸で応力が 0 となるような応力こう配が試験片内で生じる。
- (3) 試験片表面に平均応力 $s_m = 0$ (応力比 $R = -1$) の正弦波応力が繰り返し負荷される。
- (4) 試験片に任意の応力波形、平均応力を負荷することが出来る。
- (5) 試験片に軸方向の力やねじりモーメントが作用しない構造になっている試験機を用いる。

【問 2】同一の金属材料を用いて、JIS 丸棒 1 号試験片 (標点部直径 6mm, 平行部長さ 40mm) の軸荷重疲労試験と JIS 環状 60° V みぞ付き丸棒試験片 (標点部直径 6mm, 切欠き底曲率半径 0.18mm, V みぞ部外径 9mm) の回転曲げ疲労試験を同一の公称応力条件下で行う。下記の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 危険体積は 1 号試験片の方が大きい。
- (2) 環状 V みぞ付き試験片の応力集中係数は 3 以下にとどまる。
- (3) 環状 V みぞ付き試験片には応力勾配が発生する。
- (4) 同一の公称応力条件で試験を行うが最大応力が異なるので、両者の疲労強度は同程度にはならない。
- (5) 環状 V みぞ付き試験片の切欠き係数は応力集中係数より小さい。

【問 3】疲労試験片に関する下記の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 丸棒試験片を切削または研削により機械加工する場合には、著しい加工ひずみを生じさせてはならない。
- (2) 平板試験片を機械加工する場合には、試験片が加熱されることのないようにしなければならない。
- (3) 丸棒試験片の偏心は $\pm 10\mu\text{m}$ 以内に収めなければならない。
- (4) 平板試験片の厚さは最小断面において 3 箇所寸法を測定して算術平均する。
- (5) 丸棒試験片の直径は同一断面の交互に直交する 2 方向について測定し、その算術平均をその断面の直径とする。さらに試験片が平行部を有し、軸荷重疲労試験に供する場合には、平行部の数箇所寸法を測定し、その算術平均を試験片直径とする。

【問4】 一般に低サイクル疲労試験はひずみ範囲を制御して行われるため，そのデータはひずみ範囲と破断寿命の関係で整理される．なお，ひずみ範囲としては，全ひずみ範囲や弾性ひずみ範囲，または塑性ひずみ範囲が用いられる．ここで一般の金属材料は低サイクル疲労試験中に繰返し加工硬化，あるいは繰返し加工軟化挙動を示すため，弾性ひずみ範囲や塑性ひずみ範囲が繰返しとともに変化することが知られている．低サイクル疲労試験における疲労寿命を塑性ひずみ範囲で整理する場合には，どの時点での塑性ひずみ範囲を用いることが推奨されているか，下記の記述の中から正しいものを選び，その番号を示せ．

- (1) 試験開始直後の塑性ひずみ範囲
- (2) 最終破断直前の塑性ひずみ範囲
- (3) 破断寿命の半分の繰返し数において計測された塑性ひずみ範囲
- (4) 試験開始後 100 サイクル後に計測された塑性ひずみ範囲
- (5) 破断寿命の 1/4 の繰返し数において計測された塑性ひずみ範囲

【問5】 $S-N$ 曲線の回帰法に関する下記の記述の中から正しいものを選び，その番号を示せ．

- (1) 破断データ応力最小値 $\sigma_{f,min}$ とそれより低応力の未破断打ち切りデータ応力最大値 $\sigma_{r,max}$ があれば σ_w を算出することができる．ただし $\sigma_{f,min}$ と $\sigma_{r,max}$ の応力階差は $\pm 0.05\sigma_w$ を越えてはならない．
- (2) $N=1 \times 10^7$ の未破断打ち切りデータがあれば，無条件にそれを疲労限度 σ_w とすることができる．
- (3) ステアケース法で疲労限度 σ_w が得られていても， $S-N$ 曲線を取得するために得た未破断打ち切りデータを優先して σ_w を決定する．
- (4) $N \geq 5 \times 10^6$ の未破断打ち切りデータさえあれば，疲労限度型 $S-N$ 曲線を利用して $S-N$ 曲線を回帰することができる．
- (5) 低応力域でステアケース法による疲労試験が行われていれば，連続低下型 $S-N$ 曲線を利用して $S-N$ 曲線を回帰することができる．

【問6】金属材料の疲労破面の観察結果に関する下記の記述の中から正しいものを選び、その番号を示せ。

- (1) 繰返し負荷の1回ごとに対応して現れる破面上のストライエーションは、負荷レベルが高くなるほど明瞭に認められる傾向がある。しかし、あまり高くなると静的引張試験の際に見られるディンプルが混在するようになり、却って確認し難くなる。
- (2) 疲労破面には肉眼で識別できるような貝殻状模様（ビーチマークとも呼ぶ）が観察されることが多い。このようなビーチマークの間隔から疲労き裂の進展速度を予測することができる。
- (3) ストライエーションは繰返し負荷1回ごとのき裂先端の痕跡であり、ストライエーションの間隔からき裂進展速度が求められるように思われるが、多くの影響因子があるため、一般にこのような手法でき裂進展速度を求めることはしない。
- (4) 疲労き裂進展の初期段階ではき裂進展挙動が金属組織に敏感であり、これを反映して、ストライエーション模様は結晶粒や粒界ごとに異なるので、破面から金属組織を確認することができる。
- (5) 負荷レベルが高い場合は、試験片表面の1ヶ所でき裂が発生・進展して疲労破断に至るが、負荷レベルが低い場合は表面上のいくつかの場所で疲労き裂が発生し、この中の支配的き裂が疲労寿命を決めることになる。

【問7】金属疲労に関する下記の記述の中から正しいものを選び、その番号を示せ。

- (1) 金属材料の疲労特性の評価に当たり、縦軸に応力振幅 σ_a をとり、横軸に破断寿命 N_f をとった $S-N$ 曲線を描くことになっており、最大応力 σ_{max} などを縦軸にとってはいけない。
- (2) 疲労限度線図は、種々の平均応力 σ_m のもとで当該材料の疲労限度 σ_w を実験的に求め、これを滑らかに結んだ $\sigma_m - \sigma_w$ 線図であり、応力比 R を固定して疲労限度 σ_w を求める方式はとらない。
- (3) 疲労限度線図は、種々の応力比 R を固定して当該材料の疲労限度 σ_w を実験的に求め、これを滑らかに結んだ $\sigma_m - \sigma_w$ 線図であり、平均応力 σ_m を固定して疲労限度 σ_w を求める方式はとらない。
- (4) 疲労限度線図とは、平均応力 σ_m または応力比 R のいずれかに種々の値を設定し、応力振幅 σ_a を順次変化させながら疲労試験を行って疲労限度 σ_w を求め、これをもとに作図した $\sigma_m - \sigma_w$ 線図を指す。
- (5) 切欠き材の疲労強度に関する切欠き係数とは、切欠き材の疲労限度 σ_{wk} を平滑材の疲労限度 σ_{w0} で除した値で表される。

【問 8】疲労試験機の荷重検定，較正に関する下記の記述の中から正しいものを選び，その番号を示せ．

- (1) 疲労試験機の動的荷重検定に関連して，ISO 規格がある．
- (2) JIS 規格では，疲労試験機の動的荷重検定方法，疲労試験方法とも規定されていない．
- (3) 回転曲げ疲労試験機の荷重検定，較正では，重錘の重量さえ管理していれば良いため，非常に管理が楽である．
- (4) 疲労試験機の動的荷重検定を行なう場合，最も重要なのは疲労試験機の仕様上の最高周波数レンジでの荷重検定である．
- (5) 疲労試験機の荷重検定を毎年（13 ヶ月以内に 1 回）受けている．もちろん，その荷重検定に用いるロードセルも 3 年おきに（37 ヶ月以内に 1 回）荷重検定を受けるように留意している．

【問 9】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．下記の記述の中で，不適切なものを 1 つ選び，その番号を示せ．

- (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) 安全装置は確実に作動することを運転前に必ず確認する．
- (5) 試験装置運転中にむやみに近づくと危険であるので，状態を全く確認する必要はない．

【問 10】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．下記の記述の中で，不適切なものを 1 つ選び，その番号を示せ．

- (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) 点検結果は週末にまとめて記録している．
- (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) 安全装置は確実に作動することを運転前に必ず確認する．

【問 1 1】試験装置の JIS による検証方法に基づく力測定系の校正に関する下記の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 試験装置を移設した場合は、前回の校正から 1 年を経過していなくても改めて校正を行わなければならない。
- (2) 試験装置の力指示計と力計を対応付けた測定を、試験機容量の 25%、50%、75%、100% で実施した。
- (3) 力としての相対誤差が $\pm 0.1\%$ 以下である「おもり」を力計として使用することができる。
- (4) 校正作業中の周囲温度は、28 ~ 31 の範囲に収まっていたので、校正の前提基準を満たしている。
- (5) 校正の報告書には、校正に使用した力計の校正証明書が分かるよう記述しなければならない。

【問 1 2】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装置の油圧源の保守点検方法に関する下記の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) フィルターのエレメントは、メーカーが指定する期間毎に、あるいはフィルターの差圧スイッチが作動し交換が必要であることが表示されたとき交換すること。
- (2) 電動機はグリース補給が必要なものがある。詳細は電動機の銘板を確認すること。
- (3) 作動油は 10 年間使用したら新油と交換する。
- (4) 油交換のときサクシヨンストレーナを取出し、圧縮空気などで目詰まりを除去し、軽油でよく洗浄して再度取付ける。
- (5) チェーンカップリングのグリースは、メーカーが指定する期間毎、または運転時間毎に交換すること。

【問 1 3】疲労に関する下記の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

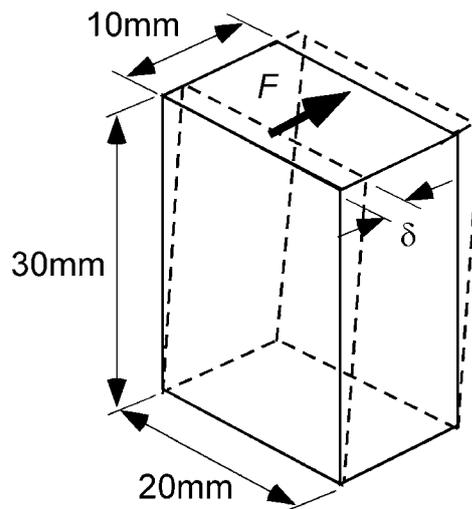
- (1) 繰返し応力について、応力振幅とは最大応力と最小応力の差を意味する。
- (2) 応力比 $R = -1$ は、平均応力がゼロで引張り圧縮両振りの繰返し荷重を意味する。
- (3) 疲労限度線図とは、材料の疲労限度と平均応力の関係を図示したものである。
- (4) 応力集中係数とは、切欠き底の最大応力と公称応力との比で与えられる。
- (5) 疲労限度線図において、修正グッドマン線はゾーデルベルク線より危険側の設計基準を与える。

【問 1 4】せん断弾性係数，引張り強さ，垂直ひずみ，降伏応力の単位に関する下記の記述の中から正しい組み合わせのものを選び，その番号を示せ．

- (1) [kN]，[MPa]，[mm]，[MPa]
- (2) [GPa]，[MPa]，[無次元]，[MPa]
- (3) [GPa]，[kN]，[無次元]，[MPa]
- (4) [kN]，[MPa]，[mm]，[kN]
- (5) [1/MPa]，[kN]，[mm]，[MPa]

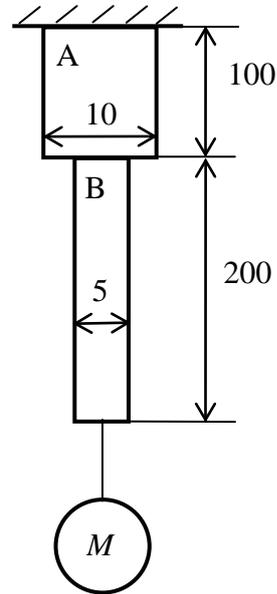
【問 1 5】縦弾性係数 $E=78\text{GPa}$ ，ポアソン比 $\nu=0.3$ の材料で，図のような寸法を有する直方体を作製した．この直方体の下面を固定し，上面に図の方向にせん断力 $F=6\text{kN}$ が負荷されているとき，材料に生じるせん断応力 τ と変位 δ の値として，下記の記述の中から正しい組み合わせのものを選び，その番号を示せ．

- (1) 30[MPa]，約 0.01[mm]
- (2) 10[MPa]，約 0.01[mm]
- (3) 20[MPa]，約 0.02[mm]
- (4) 10[MPa]，約 0.004[mm]
- (5) 30[MPa]，約 0.03[mm]



【問 1 6】図に示すように、上端が固定された直径 10mm、長さ 100mm の丸棒 A と直径 5mm、長さ 200mm の丸棒 B が剛接された構造体の下端に、質量 M の錘を取り付けた。丸棒 A の縦弾性係数 $E_A=200\text{GPa}$ であり、丸棒 B の縦弾性係数 $E_B=100\text{GPa}$ である。丸棒の変形が比例限度内であるとき、丸棒 A と丸棒 B に生じる伸びの比はどうか。下記の記述の中から正しいものを選び、その番号を示せ。ただし、丸棒の質量（自重）は無視する。

- (1) 1 : 2
- (2) 1 : 4
- (3) 1 : 8
- (4) 1 : 16
- (5) 錘の質量 M に依存する



***** (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】ある鋼の疲労試験を行った結果，応力振幅が 320MPa のときに破断繰返し数は 1.0×10^5 ,240MPa のときに 1.3×10^6 の *S-N* 曲線が得られた .同じ材料の試験片について ,320MPa で 4.0×10^4 回だけ疲労試験を行った .さらに ,この試験片の疲労試験を応力振幅 240MPa で行った場合 ,破断繰返し数はいくつになると予想されるか .下記の記述の中から最も近いものを選び ,その番号を示せ .ただし ,平均応力は全て 0 とし ,マイナー則が成立するものとする .

- (1) 6.0×10^4 サイクル
- (2) 1.0×10^5 サイクル
- (3) 7.8×10^5 サイクル
- (4) 8.2×10^5 サイクル
- (5) 1.3×10^6 サイクル

【問 1 8】疲労き裂の発生・進展に関わる下記の記述の中で ,不適切なものを 1 つ選び ,その番号を示せ .

- (1) 機械や構造物の疲労寿命の多くは ,切欠きや材料欠陥などの応力集中部から発生 ,進展する微小き裂領域で費やされる .この微小き裂の場合 ,大きいき裂の下限界応力拡大係数範囲以下でも作用させる応力範囲によってはき裂が進展することがある .
- (2) 小規模降伏状態を満たす疲労き裂進展速度は応力拡大係数の関数として表すことができる .一般的な疲労き裂進展様相としては ,第 a 段階 ,第 b 段階 ,第 c 段階の 3 つの段階に分けることができ ,各段階のき裂進展に及ぼす影響因子は異なる .
- (3) 疲労き裂において ,引張力を完全に除く前にき裂が閉口する現象が観察される .その原因として ,疲労き裂の進展に伴い形成される塑性域や破面接触などが挙げられる .前者を塑性誘起き裂閉口 ,後者を破面粗さ誘起閉口という .
- (4) 一般的な疲労き裂進展特性の評価にはパリヌ則が良く用いられる .この式は ,下限界応力拡大係数範囲から不安定破壊直前の高応力拡大係数範囲の全ての領域で適用できる .また破面上に観察されるストライエーションの間隔は ,移動式顕微鏡などで巨視的に計測されるき裂進展速度と良く一致する .
- (5) 疲労き裂先端に形成される塑性域の大きさが試験片寸法に対して大きくなる大規模降伏条件では ,応力拡大係数が物理的意味を持たなくなるため ,弾塑性破壊力学パラメータの 1 つである *J* 積分範囲による評価が行われている .

【問 19】式(A)に示すエルバーの有効応力拡大係数範囲 DK_{eff} の式を，式(B)に示す形に変換したい場合，関数 $f(R)$ は下記の(1)～(5)のいずれになるか選択せよ．ただし， DK は応力拡大係数範囲， R は応力比である．

$$DK_{eff} = K_{max} - K_{op}, \quad \frac{K_{op}}{K_{max}} = 0.5 + 0.1R + 0.4R^2 \quad (A)$$

$$DK_{eff} = f(R)DK \quad (B)$$

- (1) $f(R)=0.5+0.4R$
- (2) $f(R)=0.5+0.1R+0.4R^2$
- (3) $f(R)=0.5-0.1R-0.4R^2$
- (4) $f(R)=0.5+0.1R$
- (5) $f(R)=0.1+0.4R$

【問 20】疲労や疲労の機構に関する下記の記述の中から正しいものを選び，その番号を示せ．

- (1) 材料の疲労破壊過程は，き裂の発生と進展の過程に分けられるので，疲労寿命はき裂発生寿命とき裂進展寿命の和となる．き裂発生寿命もき裂進展寿命も疲労き裂進展特性より容易に求めることができる．
- (2) き裂は繰返し負荷による結晶粒におけるすべり面で繰返しすべりが生じた結果，表面に生成された「入込み」や「突出し」が原因で発生すると考えられている．しかし，これらの現象は非常にミクロな現象であるので，いまだに観察による確認が得られていない．
- (3) 疲労破面を電子顕微鏡で観察すると，ストライエーションと呼ばれる縞模様が見られる．ストライエーションはき裂先端の塑性鈍化と除荷の繰返しによって形成されることが知られている．その他，ビーチマークも疲労破面の特徴のひとつである．
- (4) 無限の繰返し数に耐える疲労強度を疲労限度あるいは耐久限度という．明瞭な疲労限度を示す材料は鉄鋼材のみであり，銅合金，アルミ合金およびチタン合金は明瞭な疲労限度を示さないといわれている．ただし，鉄鋼材も環境によっては疲労限度を示さない場合がある．
- (5) 疲労による繰返し数が 10^5 回程度以上を高サイクル疲労， 10^5 回程度以下を低サイクル疲労という．高サイクル疲労においても，低サイクル疲労においても，延性材料は延性破壊し，脆性材料は脆性破壊する．

【問 2 1】応力振幅を s_a , 破断繰返し数を N_f としたとき $S - N$ 曲線が $s_a^{11} N_f = 10^{32}$ で表され、疲労限度が $s_w = 250$ MPa である材料に表のような 3 段繰返しプログラム応力が負荷されている状態を考える。マイナー則および修正マイナー則を用いて算出した破断ブロック数に関して下記の記述の中から正しい組み合わせのものを選び、その番号を示せ。ただし、それぞれによる予測値を N_D , N_{MD} とする。

応力振幅 s_a (MPa)	1 ブロック中の繰返し数 n_i
380	6
300	410
220	6000

- (1) $N_D = 230$ ブロック , $N_{MD} = 230$ ブロック
- (2) $N_D = 115$ ブロック , $N_{MD} = 115$ ブロック
- (3) $N_D = 230$ ブロック , $N_{MD} = 82$ ブロック
- (4) $N_D = 230$ ブロック , $N_{MD} = 115$ ブロック
- (5) $N_D = 115$ ブロック , $N_{MD} = 82$ ブロック

【問 2 2】応力振幅 $\sigma_a = 200$ MPa が定常的に負荷されていた構造物が破壊した。この疲労破断面において、き裂発生起点部からき裂長さ a (mm) の箇所を観察したところ、縞間隔が $1 \mu\text{m}$ のストライエーションが観察された。ストライエーションとき裂進展速度が等しいと考えたとき、観察した箇所で負荷されていたと推定される応力拡大係数範囲 DK ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) , および測定した箇所の破壊起点からの距離 a (mm) に関する下記の記述の中から正しい組み合わせのものを選び、その番号を示せ。ただし、パリス則、および応力拡大係数は以下の式で与えられるものとする。

$$da / dN = 6.0 \cdot 10^{-14} \cdot (DK)^4$$

$$K = s \sqrt{\rho a}$$

- (1) $DK = 16.0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, $a = 8.1 \text{ mm}$
- (2) $DK = 32.0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, $a = 8.1 \text{ mm}$
- (3) $DK = 32.0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, $a = 32.5 \text{ mm}$
- (4) $DK = 63.9 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, $a = 8.1 \text{ mm}$
- (5) $DK = 63.9 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, $a = 32.5 \text{ mm}$

【問 2 3】鋼構造物溶接部の疲労設計によく用いられている JSSC(社団法人日本鋼構造協会) の疲労設計指針に関する下記の記述の中から正しいものを選び、その番号を示せ。

- (1) 複数の疲労設計曲線の中から、材料の引張強度に応じて適切な強度等級を選択する。
- (2) 継手に引張の平均応力が作用している場合でも、修正 Goodman 線図などを用いて疲労強度を補正しなくてよい。
- (3) アンダカットや大きいブローホールなどの溶接欠陥を想定する場合は、疲労設計曲線の非仕上げの溶接継手の強度等級を選択する。
- (4) 設計応力は、設計荷重と板厚などの断面寸法から求めた公称応力に、継手部の形状を考慮した応力集中係数を乗じた値を用いる。
- (5) 同じ継手で、寸法が異なっている比例形状の 2 つの継手に、同じ設計応力が作用している場合、本設計指針に基づく疲労強度（許容応力範囲）は必ず同じとなる。

【問 2 4】疲労や疲労の機構に関する下記の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 鉄鋼材料のように $S-N$ 曲線において明確な疲労限度が見られる材料であっても、高温や腐食環境下では疲労限度が消失する場合がある。
- (2) 形状が幾何学的に相似な試験片の疲労強度は一般に寸法が大きいほど低くなる。これを寸法効果と呼ぶ。寸法効果は引張圧縮疲労試験よりも回転曲げ疲労試験で明確に現れる。
- (3) 材料表面に引張の残留応力が生じるような表面処理を施すと、耐久限度を向上させることが出来る。
- (4) き裂進展においてパリズ側が成立する第 b 段階では、き裂進展速度 da/dN は縦弾性係数の影響を大きく受ける。
- (5) 実働荷重下では疲労限度以下の繰返し応力でも疲労損傷が生じるが、マイナー則ではこれを考慮していない。