

2016年度

(公社) 日本材料学会 技能検定試験

技能種別：疲労試験



2016年9月23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。**

疲労破壊の概説

【問 1】疲労強度に及ぼす平均応力や残留応力の影響に関する以下の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 回転曲げ試験で得られる疲労限度から平均応力が作用する場合の疲労限度を推定するときは、疲労限度線図を用いれば良い。
- (2) 疲労限度線図を作成する際、材料の真破断応力の代わりに引張強さを用いることもある。
- (3) 圧縮残留応力が生じる表面処理を行うと疲労強度が向上し、一度導入された残留応力はどのような条件下でも疲労試験中に変化することはない。
- (4) 疲労限度線図で疲労限度を推定する際、ガーバー線よりも修正グッドマン線が安全側の推定結果を与える。
- (5) 引張側の平均応力が生じる条件では疲労強度が低下する。

疲労試験・試験機の種別、疲労試験片

【問 2】代表的な疲労試験機である軸力制御疲労試験機と回転曲げ疲労試験機に関する以下の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 軸力制御疲労試験機における繰返し速度は、ISO では、5～300Hz と指定されている。
- (2) 回転曲げ疲労試験機における繰返し速度は、原則として毎分 1000～5000 回（16.7～83.3Hz）とされており、ISO では上限が毎分 9000 回（150Hz）となっている。
- (3) 軸力制御疲労試験機では、平滑試験片を用いると、評点距離の区間内では試験片軸方向に垂直な断面内で一様な応力を負荷することができる。
- (4) 軸力制御疲労試験機を用いて、試験片に平均応力 $\sigma_m=0$ （応力比 $R=-1$ ）の正弦波応力を繰返し負荷することができる。
- (5) 回転曲げ疲労試験機では、ロードセルからの出力を制御装置にフィードバックして所定の負荷力が試験片に加えられるように制御することができる。

疲労試験方法

【問 3】同一の材料を用いて回転曲げ疲労試験を行うとき、以下の数値が大きくなると、その値が小さい試験片よりも疲労強度が大きくなるものを選択せよ。

- (1) 丸棒 1 号試験片の標点部直径
- (2) 丸棒 2 号試験片の直径最小部における応力集中係数
- (3) 環状 V みぞ付き試験片の切欠き係数
- (4) 試験片表面の表面粗さ
- (5) 試験片表面の圧縮残留応力

疲労試験規格

【問4】疲労試験片に関する以下の記述の中で、不適切なものを1つ選び、その番号を示せ。

- (1) 丸棒1号試験片（記号1-10）の平行部直径を $50\mu\text{m}$ の分解能のノギスを用いて3箇所においてその直交する2方向の寸法を測定して算術平均し、最小値を示す位置の値を直径として採用する。
- (2) 平板2号試験片（記号2-20）の幅を $50\mu\text{m}$ の分解能のノギスを用いて3箇所において測定し、その算術平均を試験片の幅として採用する。
- (3) 平板1号試験片（記号1-30）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て研磨仕上げしなければならないが、必要であれば仕上げをしなくてもよい。ただし、その場合はその表面の状態を記録しておくことが望ましい。
- (4) 丸棒2号試験片（記号2-10）の標点部を砥石で研削する場合は、試験片表面が極度に発熱することのないよう、冷却に注意して加工しなければならない。
- (5) 仕上げ加工を終えた試験片は、錆びないように防錆油を塗布して保管するとともに、試験片同士の衝突による傷がつかないように保管しなければならない。また、試験に供する際も傷がつかないように丁寧に扱わなければならない。

疲労試験規格

【問5】回転曲げ疲労試験において、取り付けた試験片を緩やかに回したとき、軸振れが所定の大きさ以下に収まるように取り付けなければならない。JIS規格では何mm以下に抑えるように規定されているか。

- (1) 0.005mm (2) 0.01mm (3) 0.05mm (4) 0.1mm (5) 1mm

S-N 曲線回帰法

【問6】S-N 曲線回帰に関する以下の記述の中で、正しいものを1つ選び、その番号を示せ。

- (1) 疲労試験で得られる S-N 曲線は、全てのデータが回帰曲線と完全に一致しなければならない。
- (2) 焼入れ焼戻しのような熱処理の不均一さは、実験データのばらつきの原因には含まれない。
- (3) 試験機や熱処理に起因する実験データのばらつき要因を全て除去すれば、疲労試験データのばらつきも全て除去することができる。
- (4) 疲労寿命のばらつきは、応力振幅の高い領域では小さいが、疲労限度近傍の長寿命域では大きい傾向がある。
- (5) データのばらつきは P-S-N 曲線で評価できるので、疲労試験機の準備、調整不足によるばらつきを極力排除する必要は無い。

疲労の基礎（専門用語）

【問 7】 金属疲労に関する以下の記述の中で、正しいものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 疲労限度線図における修正グッドマン線とは、縦軸上の両振り疲労限度を示す点と横軸上の引張強さ σ_B を結んだ直線を意味し、耐久設計の際の設計基準として広く利用されている。
- (2) 疲労試験における応力振幅は繰返し負荷応力の変動幅で表されるので、最大応力を σ_{\max} とし、最小応力を σ_{\min} とするとき、応力振幅は $\sigma_a = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ で与えられる。
- (3) 同じ材料で種々の直径の平滑試験片を準備して疲労試験を実施すると、一般に直径が大きくなると疲労限度が増大する傾向が知られており、これを疲労強度に関する寸法効果とよぶ。
- (4) 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。
- (5) アルミニウム合金や銅合金など、多くの非鉄金属の $S-N$ 曲線は低応力域で水平に折れ曲がり明確な疲労限度を示すが、多くの鉄鋼材料では $S-N$ 曲線が連続的に低下して明瞭な疲労限度を示さない。

疲労の基礎（SEM 観察）

【問 8】 金属材料の疲労破面の観察結果に関する以下の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 負荷レベルが高い場合は、試験片表面の複数の場所以き裂が発生し、これらが進展・合体して疲労破断に至るが、負荷レベルが低くなる時き裂発生数が少なくなる傾向がある。
- (2) 金属材料の疲労破壊は、き裂発生およびき裂進展の 2 つの過程を経て生じるが、最終破断部付近では、静的な引張り破面で一般に観察されるデンプル状の破面パターンも見られることが多い。
- (3) ストライエーション模様は、疲労き裂の進展方向と直交するように形成され、ストライエーション間隔は、疲労き裂進展速度 da/dN とよく対応することが広く知られている。
- (4) ストライエーション模様は、一般に、アルミニウム合金や銅合金よりも鉄鋼材料の方が明瞭に形成されることが分かっている。
- (5) 金属材料の疲労破面を肉眼で観察すると、波により砂浜に形成される模様とよく似たビーチマークと呼ばれる特徴的な模様が見られる。

荷重検定

【問 9】引張試験装置の JIS による検証方法における力測定系の校正に関する以下の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 校正・検証報告書には、力計の形式、等級、校正証明書番号の記載が必要である。
- (2) 校正時の温度は 0～45℃の周囲温度にて行い、校正中の温度を±2℃に安定させなければならない。
- (3) 力としての相対誤差が±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) 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。
- (5) 前回の校正から 13 か月経過したため校正を実施。前回校正から 12 か月が経過しているこの 1 か月間の測定データも無効ではない。

荷重検定

【問 1 0】50kN 油圧サーボ式疲労試験機の静的荷重検定を JIS B 7721 に則って行った。以下の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 毎年 9 月に静的荷重検定をしていたが、今年は 8 月に実施した。
- (2) 荷重検定の前に試験機の使用前点検を行い、試験機に異常がないことを確認した。
- (3) 力測定系校正時の周囲温度は 28℃だった。
- (4) 力系の校正が間に合わなかったので、5kg のおもり 3 個を使って荷重検定した。
- (5) 校正・検証報告書は PDF ファイルで発行している。

維持管理

【問 1 1】油圧源の保守点検方法に関する以下の記述(a), (b), (c), (d), (e)について、最も適当な言葉の組合わせを(1)～(5)の中から選択し、その番号を示せ。

- (a) 磨耗具合を点検し、磨耗が著しい場合は交換すること。
- (b) 動力の伝達とともにポンプ、バルブ等の部品を潤滑するという重要な役割を果たしている。
- (c) 圧縮空気等で目詰まりを除去し、軽油でよく洗浄して再度取り付ける。
- (d) 正常運転中とは異なる音が認められた場合は、ただちに運転を停止し点検すること。
- (e) メーカーが指定する期間毎に、あるいは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。

- (1) (a) サクションストレーナ (b) フィルター (c) ポンプ (d) 作動油 (e) チェーンカップリング
- (2) (a) サクションストレーナ (b) フィルター (c) 作動油 (d) ポンプ (e) チェーンカップリング
- (3) (a) チェーンカップリング (b) フィルター (c) サクションストレーナ (d) 作動油 (e) ポンプ
- (4) (a) チェーンカップリング (b) 作動油 (c) サクションストレーナ (d) フィルター (e) ポンプ
- (5) (a) チェーンカップリング (b) 作動油 (c) サクションストレーナ (d) ポンプ (e) フィルター

安全規範

【問 1 2】試験作業を安全におこなうため、服装および保護具は重要である。以下の記述の中で、不適切なものを1つ選び、その番号を示せ。

- (1) 切屑が飛散する作業をおこなうため、ゴーグルタイプの保護眼鏡を使用した。
- (2) 安全帽が変形していたが、着用できるので使用した。
- (3) 靴は保護板が入っている安全靴を使用する。また、摩耗・破損がないか点検する。
- (4) 機械に巻き込まれることを防ぐため、作業前に袖口のボタンが掛かっていることを確認した。
- (5) 手袋をはめて作業していたが、ハンマーを扱うため手袋を外した。

安全規範

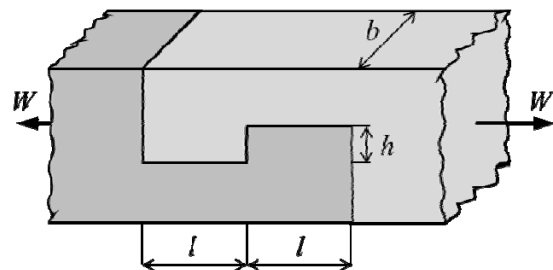
【問 1 3】荷重荷装置の作業に係る安全規範について、以下の記述の中で、不適切なものを1つ選び、その番号を示せ。

- (1) 試験片を治具にしっかり固定していることを確認し、使用前点検を実施する。
- (2) 保護カバーを設置すると同時に、試験片の飛散方向に立入禁止の措置をとる。
- (3) 運転後は、できる限りすみやかに試験片を取外すようにする。
- (4) アクチュエータの動作範囲に手を入れない。
- (5) 運転中は、装置の異音や温度上昇を監視する。

材料力学の基礎

【問 1 4】2本の木製角柱が図のような組合せで結合されている。引張荷重 $W=50\text{kN}$ に耐えられるように接合部の寸法 h および l を定めよ。ただし、木材の圧縮およびせん断に対する許容応力をそれぞれ $\sigma_{\text{all}}=5\text{MPa}$ 、 $\tau_{\text{all}}=0.8\text{MPa}$ とし、断面の横幅を $b=0.25\text{m}$ とする。 h と l の組み合わせとして正しいものを(1)~(5)の中から選択せよ。

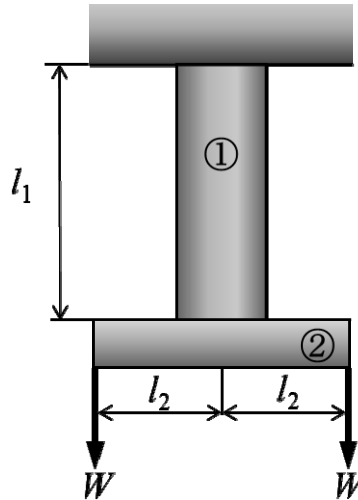
- (1) $h=0.25\text{m}$, $l=0.4\text{m}$
- (2) $h=0.04\text{m}$, $l=0.25\text{m}$
- (3) $h=0.04\text{m}$, $l=0.125\text{m}$
- (4) $h=0.4\text{m}$, $l=2.5\text{m}$
- (5) $h=0.25\text{m}$, $l=1.25\text{m}$



材料力学の基礎

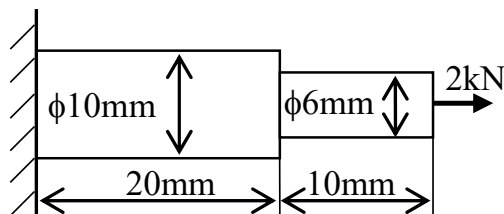
【問 1 5】 図に示すように、棒①の下側に棒②を水平になるように接合し、棒②の両端に荷重 W を負荷したところ、棒②の両端が δ だけ下がった。棒①の長さを l_1 、断面積を A_1 、縦弾性係数 (ヤング率)、横弾性係数を E_1 、 G_1 、また棒②の長さを $2l_2$ 、断面積を A_2 、縦弾性係数、横弾性係数を E_2 、 G_2 とするとき、正しい下降量 δ を (1)~(5) の中から選択せよ。なお、棒②はせん断で変形するものとする。

- (1) $\frac{2Wl_1}{A_1E_1}$
- (2) $\frac{Wl_1}{A_1E_1} + \frac{2Wl_2}{A_2G_2}$
- (3) $2\left(\frac{Wl_1}{A_1E_1} + \frac{Wl_2}{A_2G_2}\right)$
- (4) $\frac{2Wl_1}{A_1E_1} + \frac{Wl_2}{A_2G_2}$
- (5) $2\left(\frac{Wl_1}{A_1E_1} + \frac{Wl_2}{A_2E_2}\right)$



材料力学の基礎

【問 1 6】 図に示すように直径 10mm、長さ 20mm の丸棒と、直径 6mm、長さ 10mm の丸棒が連結されており、左端が固定され、右端に 2kN の荷重が加えられている。丸棒の材料の縦弾性係数 (ヤング率) は 200GPa であり、丸棒の変形が弾性限度内であるとき、この丸棒に生じる正しい伸び δ を (1)~(5) の中から選択せよ。



- (1) 3.18mm
- (2) 6.09 μ m
- (3) 12.2×10^{-6} m
- (4) 2.04×10^{-3} %
- (5) 3.18×10^{-6} mm

***** (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】疲労き裂進展に関する以下の記述(a), (b), (c), (d), (e)について、不適切な記述の組合せを(1)~(5)の中から 1 つ選び、その番号を示せ。

- (a) 小規模降伏状態においては、疲労き裂先端の応力場を線形破壊力学パラメーターの応力拡大係数によって一義的に表すことが出来るため、小規模降伏状態での疲労き裂進展に対しては応力拡大係数が有効なパラメーターと言える。
- (b) 疲労き裂進展は第 I 段階と第 II 段階に区別され、小規模降伏状態の第 II 段階のき裂進展は、疲労き裂進展速度 da/dN を応力拡大係数の変動範囲である応力拡大係数範囲 ΔK の関数として表される。その第 II 段階において、進展挙動の特徴から 3 つの領域に分けることができるが、どのような材料でも第 II 段階すべての領域でパリヌ則が成立する。
- (c) 実際の機械や構造物において、微小き裂の領域が疲労寿命の大半を占める。大きいき裂の場合、下限界応力拡大係数以下でき裂は停留するが、微小き裂の場合、大きいき裂の下限界応力拡大係数以下でもき裂は進展し、破壊に至る場合があるため注意が必要である。
- (d) 疲労き裂は、引張力を完全に取り除く前に閉口し、閉口したときとほぼ等しい引張力で開口するき裂開閉口現象がある。そこで有効応力拡大係数範囲 ΔK_{eff} でき裂進展速度 da/dN を整理すると、鉄鋼材料やアルミニウム合金のき裂進展速度は応力比に影響されない。
- (e) 低強度材において、試験片寸法に対してき裂長さが大きくなると小規模降伏状態を逸脱したき裂進展をする場合がある。特に大規模降伏状態となる場合、き裂進展を整理する有効なパラメーターが存在しないため、き裂先端の応力場を規定する応力拡大係数を用いて整理する。

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

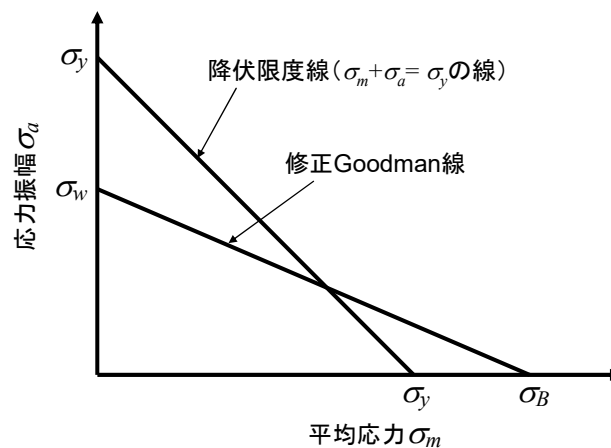
【問 1 8】板幅 500mm, 厚さ 10mm の鉄鋼板に 50mm の片側き裂 ($F=1.122$) が入っている。この板材に最大応力 100MPa, 最小応力 50MPa の繰返し応力が作用する。この時の限界き裂長さ a_f と破断繰返し数 N_f の組み合わせとして最も適切なものを(1)~(5)の中から 1 つ選び、その番号を示せ。ただし、この材料の破壊じん性値を $K_{Ic}=70\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, パリヌ則を $da/dN=C\Delta K^m$ (da/dN : m/cycle, ΔK :MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$) とし、その係数は $m=3.6$, $C=4.5\times 10^{-12}$ とする。また、き裂開閉口現象は無視できるものとする。

- (1) $a_f=100\text{mm}$, $N_f=8370$ 回
- (2) $a_f=124\text{mm}$, $N_f=8370$ 回
- (3) $a_f=156\text{mm}$, $N_f=14657$ 回
- (4) $a_f=124\text{mm}$, $N_f=101488$ 回
- (5) $a_f=156\text{mm}$, $N_f=177729$ 回

【問 1 9】 JSSC（社団法人日本鋼構造協会）の鋼構造物の疲労設計指針に関する以下の記述の中で、不適切なものを 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 溶接継手の強度等級は継手形状のみによって決まる。強度等級を選択するのに、溶接残留応力、母材強度、溶接部の仕上げに関する情報は不要である。
- (2) 腐食や高温など環境効果がない、大気中の高サイクル疲労を対象としている。
- (3) 溶接継手だけでなく、鋼構造物で用いられる高力ボルト締結継手についても記載がある。
- (4) 溶接継手はブローホールやアンダーカットなどが無い健全な継手を前提としている。
- (5) 公称応力を定義できない複雑形状の溶接継手の疲労設計もできる。

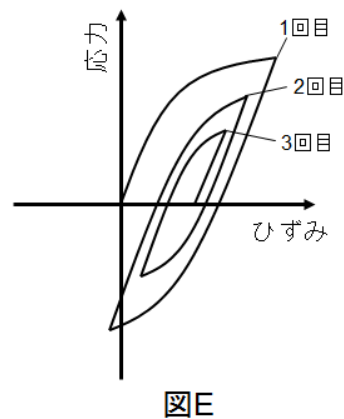
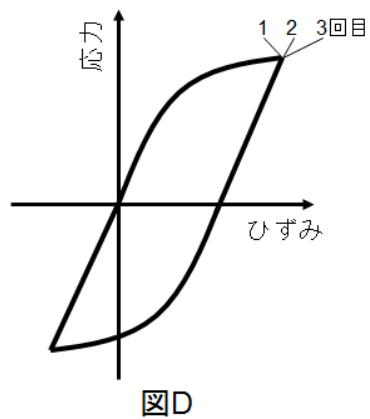
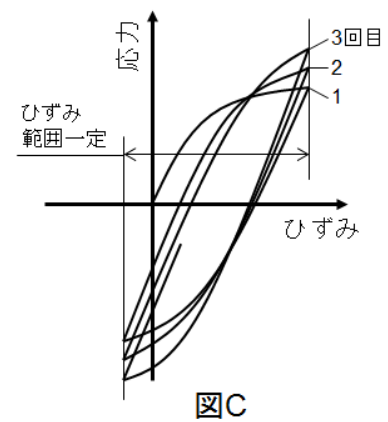
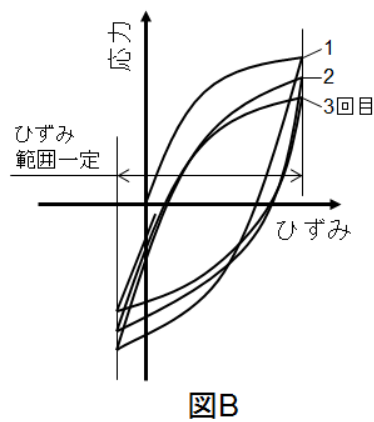
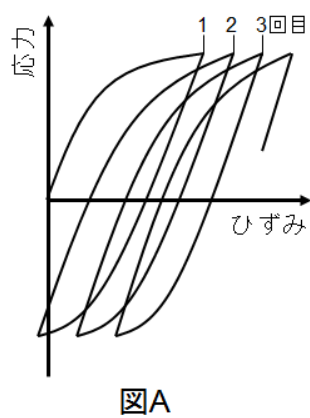
【問 2 0】 降伏応力 $\sigma_y=300\text{MPa}$ 、引張強さ $\sigma_B=450\text{MPa}$ 、両振り疲労限度 $\sigma_w=200\text{MPa}$ の鉄鋼材がある。図に示すように、この材料の疲労限度線図が、修正 Goodman 線と降伏限度線 ($\sigma_m+\sigma_a=\sigma_y$ の線) の下限包絡線であるとした場合、平均応力 $\sigma_m=200\text{MPa}$ が作用するときの許容応力振幅を以下の(1)~(5)より選べ。ここで、安全率は応力振幅軸方向にのみ 2 を採用することとする。



- (1) 100MPa
- (2) 111MPa
- (3) 50.0MPa
- (4) 55.6MPa
- (5) 56.9MPa

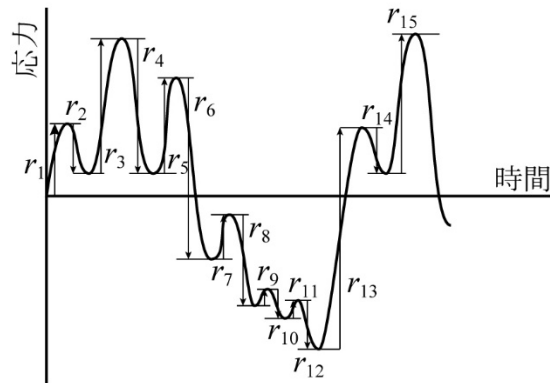
【問 2 1】繰返し加工硬化材の応力—ひずみ挙動として、正しいものを(1)～(5)より 1 つ選び、その番号を示せ。

- (1) 繰返し負荷を受けると平均ひずみが増大して、不可逆的に変形が進行する挙動 (図 A)
- (2) 一定ひずみ範囲が作用している下で繰返しと共に応力範囲が減少していく挙動 (図 B)
- (3) 一定ひずみ範囲が作用している下で繰返しと共に応力範囲が増大していく挙動 (図 C)
- (4) 負荷の繰返しを受けても応力範囲とひずみ範囲が全く変化しない挙動 (図 D)
- (5) 負荷の繰返しにともない応力範囲とひずみ範囲が共に減少していく挙動 (図 E)



【問 2 2】 ランダム応力による疲労損傷を評価するためには，実働応力波形から疲労強度を支配する特性因子（応力振幅や平均応力など）を抽出し，その頻度分布を求める必要があり，波形計数法と呼ばれている．その一つとして図に示すように波形の隣り合う極小値と極大値の差を応力変化幅として計数する方法があるが，これは何と呼ばれる計数法か．

- (1) レンジ法
- (2) レンジペア法
- (3) ピーク法
- (4) レベルクロッシング法
- (5) レインフロー法



【問 2 3】 低サイクル疲労の寿命則のひとつにマンソンの共通勾配法と呼ばれている関係がある．この関係を用いて 10^4 サイクルの疲労寿命を与える全ひずみ範囲を推定せよ．対象とする材料の機械的性質は下表の通りである．

降伏点	引張強度	真破断力	絞り	破断延性	縦弾性係数	横弾性係数
520MPa	740MPa	920MPa	52%	12%	206GPa	80GPa

- (1) 0.34%
- (2) 0.53%
- (3) 0.72%
- (4) 0.91%
- (5) 1.07%

【問 2 4】 き裂開閉口現象に関する以下の記述の中で，不適切なものを 1 つ選び，その番号を示せ．

- (1) 1970 年代以前，き裂は引張り力を受けると開口し，引張り力が除かれると閉口すると考えられてきた．しかし，疲労き裂は引張り力を完全に除く前に閉口することが，エルバー（Elber）によって実験的に確認された．
- (2) 塑性誘起き裂閉口では，き裂が先端に形成される塑性域内を進展するため，後方のき裂壁に残留する引張りひずみによってき裂が除荷過程で閉口すると考えられている．
- (3) き裂閉口のメカニズムとして，塑性誘起き裂閉口だけでなく，酸化皮膜や破面の突起など，種々のき裂閉口メカニズムが提案されている．
- (4) き裂閉口を考慮した破壊力学パラメーターとして，エルバー（Elber）は有効応力拡大係数範囲 ΔK_{eff} を提案し，き裂進展速度 da/dN を ΔK_{eff} で整理すると，応力比 R に影響されないことを示した．
- (5) 応力比 R が異なる場合の疲労き裂進展速度評価式として，フォアマン（Forman）の式がよく用いられるが，同式はき裂開閉口現象を元に考案されている．