

2013年度

(社) 日本材料学会 技能検定試験

技能種別：疲労試験



2013年9月27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】疲労試験片に関する，以下の文中の空欄 (ア)，(イ)，(ウ)，(エ) に入る最も適切な言葉の組合せを(1)～(5)の中から選択せよ。

疲労試験片に関する日本の規格には (ア) がある。その中で (イ) の標準試験片として1号～3号試験片が規定されており，(ウ) 試験片にも望ましい形状・寸法が推奨されている。(エ) の標準試験片としては1号，2号試験片が規定されている。

- (1) (ア) JIS 規格，(イ) 丸棒，(ウ) 切欠き，(エ) 平板
- (2) (ア) ASTM 規格，(イ) 丸棒，(ウ) 切欠き，(エ) 平板
- (3) (ア) JIS 規格，(イ) 平板，(ウ) 環状半円みぞ付き，(エ) 丸棒
- (4) (ア) ASTM 規格，(イ) 切欠き，(ウ) 環状半円みぞ付き，(エ) 段付き
- (5) (ア) IAO 規格，(イ) 段付き，(ウ) 疲労，(エ) 精度確認用

【問2】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(1)～(5)の中から選択せよ。

- (1) 研削加工ままの試験片の引張圧縮 > ショットピーニングした試験片の引張圧縮
- (2) 旋削加工ままの高強度鋼の回転曲げ > 研磨加工後ラッピングした高強度鋼の回転曲げ
- (3) 直径の太い試験片の引張圧縮 > 直径の細い試験片の引張圧縮
- (4) JIS 丸棒 2号試験片の引張圧縮 > JIS 丸棒 2号試験片の回転曲げ
- (5) 低温焼もどし材の回転曲げ > 高温焼もどし材の回転曲げ

【問3】代表的な疲労試験機である軸力制御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)～(5)の中から選択せよ。

- (1) 電気油圧サーボ制御式の試験機では，任意の応力波形，平均応力を設定できる。
- (2) 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。
- (3) 切欠き試験片を用いると，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) 試験片の軸と試験機の負荷軸とが一致するように細心の注意を払わなければならない。
- (5) 汎用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。

【問4】 疲労限度や疲労強度に及ぼす試験片の状態等に関する下記の記述の中で、不適切なものを(1)～(5)の中から選択せよ。

- (1) 最小断面積が同じであれば、切欠き試験片の疲労限度は、切欠きがない試験片の疲労限度よりも低下する。
- (2) 試験片形状が幾何学的に相似のとき、寸法が大きい試験片ほど疲労強度は低くなる。
- (3) 試験片に圧縮残留応力を生じさせる表面仕上げ処理は疲労強度の向上につながるが、圧縮残留応力値は大きければ大きいほど、疲労試験の負荷応力条件によらず高い効果が得られる。
- (4) 試験片の表面粗さは微視的には切欠きとして作用して疲労強度が低下することもあるため、試験片を機械加工した場合にはその表面を研磨することが望ましい。
- (5) 高周波焼入れやショットピーニングなどの表面硬化処理を行うと、疲労限度が向上する。

【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を(1)～(5)の中から選択せよ。

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

【問6】 $S-N$ 曲線の回帰法に関する以下の記述について、正しいものを(1)～(5)の中から選択せよ。

- (1) $S-N$ 曲線を描く場合、両対数グラフを利用しなければならない。
- (2) 日本材料学会標準では、 $S-N$ 曲線を「疲労限度型 $S-N$ 曲線」と「連続低下型 $S-N$ 曲線」に分類分けをし、それぞれに対して回帰曲線を標準化している。
- (3) 疲労限度型 $S-N$ 曲線では、2本の直線からなる折れ線回帰モデルを利用しなければならない。
- (4) ステアケース法やプロビット法で疲労限度が求められる場合でも、その値を固定して $S-N$ 曲線回帰に用いることはできない。
- (5) $N=5 \times 10^6$ 以上の未破断打ち切りデータがあれば、どのような場合でも日本材料学会標準では疲労限度を定義することができる。

【問7】 破面の観察結果に関する下記の一般的記述の中で、不適切なものを(1)～(5)の中から選択せよ。

- (1) 破面にストライエーションが観察された。ストライエーションは疲労き裂発生直後から不安定伝播するまでの区間全域で、一回の繰返し負荷ごとに波目模様が形成される疲労破面の特徴である。
- (2) 破面にビーチマークが観察された。これは疲労破面的一种であり、黒く見える部分ほど破面を形成してからの経過時間が長いのでき裂発生起点に近い。
- (3) 破面にシャーリップが観察された。破面の平坦部は平面ひずみ状態で形成され、傾斜部は平面応力状態で形成されたことを意味する。き裂進展速度が内部と表面で異なることによって応力状態が変化する疲労破壊の証である。
- (4) 破面にラチェットマークが観察された。これは、複数の起点からき裂が発生したことを意味し、高負荷が作用した低サイクル疲労を裏付けるものである。
- (5) 破面にカップ・アンド・コーンが観察された。これは、せん断応力によってき裂が発生した後、主応力で破壊に至ったことを示す静的な破壊である。

【問8】 金属疲労に関する以下の記述について、正しいものを(1)～(5)の中から選択せよ。

- (1) 切欠き材の疲労強度に関する切欠き係数とは、平滑材の疲労限度 σ_{w0} を切欠き材の疲労限度 σ_{wk} で除した値で表される。
- (2) 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。
- (3) 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降伏点を結んだ直線を意味するものであり、耐久設計の上で広く利用されている。
- (4) 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、種々の平均応力 σ_m における疲労限度 σ_w を求める方式をとってはいけない。
- (5) 疲労限度線図とは、平均応力 σ_m または応力比 R に種々の値を設定し、最大応力 σ_{max} 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 $\sigma_{max} - \sigma_w$ 線図を指す。

【問 9】疲労試験機の荷重検定，較正に関する以下の説明について，不適切なものを(1)～(5)の中から選択せよ。

- (1) 回転曲げ疲労試験機などを除いた軸荷重疲労試験機では，JIS B 7721 などに準拠して力計測系の較正が必要である。
- (2) 疲労試験機の動的荷重検定方法は，JIS 規格では規定されていない。
- (3) 低サイクル疲労試験機では，静的荷重検定で動的荷重検定を代用してもよい。
- (4) 使用中の試験精度保障のための荷重検定は，試験機の部品交換，修理，再調整したときに行なえば良い。
- (5) これまで使っていた市販のループ状検定器が破損していたため，丸棒試験片にひずみゲージを貼って検定器を自作した。

【問 10】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。それらに関する以下の文章について，不適切なものを (1)～(5)の中から選択せよ。

- (1) 安全帽にひび割れがあったので交換した。
- (2) 靴は保護具ではないため普段履き慣れたものでもよい。
- (3) 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。
- (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。

【問 11】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。それらに関する以下の文章について，不適切なものを(1)～(5)の中から選択せよ。

- (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 1 2】 疲労試験装置の保守点検に関する、以下の文中の空欄(ア), (イ), (ウ), (エ), (オ)に入る最も適切な言葉の組合せを(1)～(5)の中から選択せよ。

制御装置を長い間使用せずにおいておくと、性能を低下させることにもなる。日常の手入れをし、に1度程度は電源を入れて動作を確認する。また、ほこり等から制御装置を保護するため、使用しないときはカバーを掛ける等の配慮をすること。

やは、長い時間のうちに接触部に付着したほこり等により、絶縁不良や接触不良をおこすことがある。また、は繰返し曲げられたり、腐食したりして断線することもある。したがって、保守点検をに1度程度実施すること。保守時は必ず制御装置の電源を切っておこなうこと。また、ユーザーにおいて処理が困難な場合は、メーカーへ連絡すること。

- (1) (ア) 3 か月 (イ) ケーブル (ウ) 端子盤 (エ) コネクタ (オ) 3 年
- (2) (ア) 3 か月 (イ) コネクタ (ウ) スイッチ (エ) ケーブル (オ) 3 年
- (3) (ア) 1 か月 (イ) ケーブル (ウ) スイッチ (エ) コネクタ (オ) 1 年
- (4) (ア) 1 か月 (イ) コネクタ (ウ) 端子盤 (エ) ケーブル (オ) 1 年
- (5) (ア) 1 か月 (イ) コネクタ (ウ) 端子盤 (エ) ケーブル (オ) 3 年

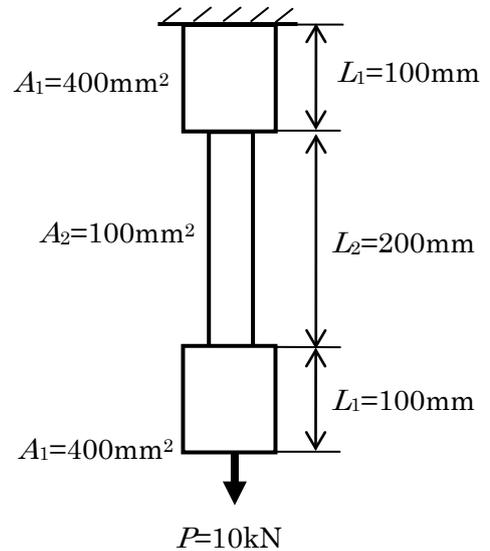
【問 1 3】 低サイクル疲労試験手法に関する、以下の文中の空欄(ア), (イ), (ウ), (エ)に入る最も適切な言葉の組合せを(1)～(5)の中から選択せよ。

と比較し、破断までの繰返し数が相対的に少ない場合、いわゆる低サイクル疲労試験を行う。試験はで行うが、低サイクル疲労試験はで行うことが一般的である。これは、試験中の変形を避けることが主たる目的である。

- (1) (ア) 破断サイクル疲労, (イ) 線形制御, (ウ) 非線形制御, (エ) クリープ
- (2) (ア) 超低サイクル疲労, (イ) 荷重制御, (ウ) ひずみ制御, (エ) クリープ
- (3) (ア) 高サイクル疲労, (イ) ひずみ制御, (ウ) 荷重制御, (エ) クリープ
- (4) (ア) 高サイクル疲労, (イ) 応力制御, (ウ) ひずみ制御, (エ) ラチェット
- (5) (ア) 超低サイクル疲労, (イ) 応力制御, (ウ) 荷重制御, (エ) ラチェット

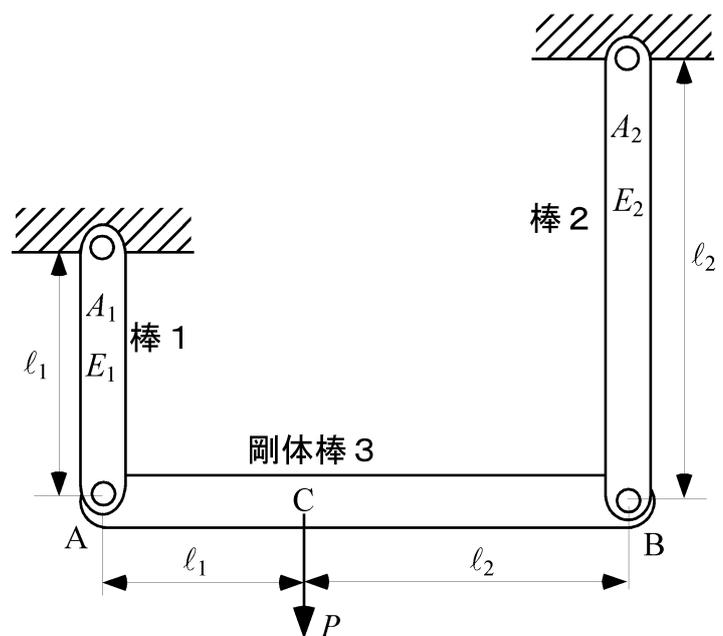
【問 1 4】 引張試験片を図に示すように簡略化した。上端を固定し、下部に 10kN の荷重を加えた。それぞれの部分の断面積 A と長さ L は図に示すとおりである。試験片の縦弾性係数 E が 200GPa, 降伏応力が 500MPa の時, 試験片の伸びとして正しいものはどれか。(1)~(5)の中から選択せよ。

- (1) 1.125mm
- (2) 125 μ m
- (3) 112.5 μ m
- (4) 100 μ m
- (5) 150 μ m



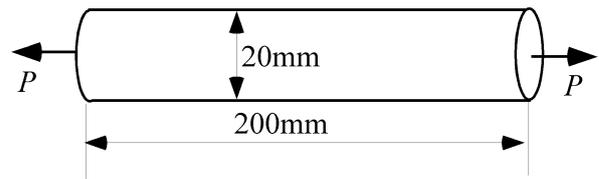
【問 1 5】 図のように長さ, 断面積, 縦弾性係数がそれぞれ l_1, A_1, E_1 である棒 1 と, l_2, A_2, E_2 である棒 2 が, 長さ l_1+l_2 の剛体棒 3 でピン連結されている。剛体棒の左端 A 点から l_1 の位置 C 点に垂直下向きに引張り外力 P が加わっている。このとき, 棒 1 と棒 2 のひずみが等しくなる条件, および棒 1 と棒 2 の伸びが等しくなる条件として, 正しい組み合わせはどれか。(1)~(5)の中から選択せよ。ただし, すべての棒の重力は無視する。

- (1) $l_1 A_2 E_2 = l_2 A_1 E_1$ $A_1 E_1 = A_2 E_2$
- (2) $l_1 A_1 E_1 = l_2 A_2 E_2$ $A_1 E_2 = A_2 E_1$
- (3) $l_1 A_2 E_2 = l_2 A_1 E_1$ $A_1 E_2 = A_2 E_1$
- (4) $l_1 A_1 E_1 = l_2 A_2 E_2$ $A_1 E_1 = A_2 E_2$
- (5) $l_1 A_1 E_2 = l_2 A_2 E_1$ $A_2 E_1 = A_1 E_2$



【問 1 6】 ポアソン比 $\nu=0.3$ である直径 20mm, 長さ 200mm の丸棒に $P=6280\text{N}$ の引張り外力を加えた時, この材料は降伏せず, 0.04mm の伸びが発生した. この材料に生じた垂直応力 σ , この材料の縦弾性係数 E , ならびにこの材料にせん断応力 $\tau=100\text{MPa}$ を加えたとき発生するせん断ひずみ γ の値の組み合わせとして正しいものはどれか. (1)~(5)の中から選択せよ.

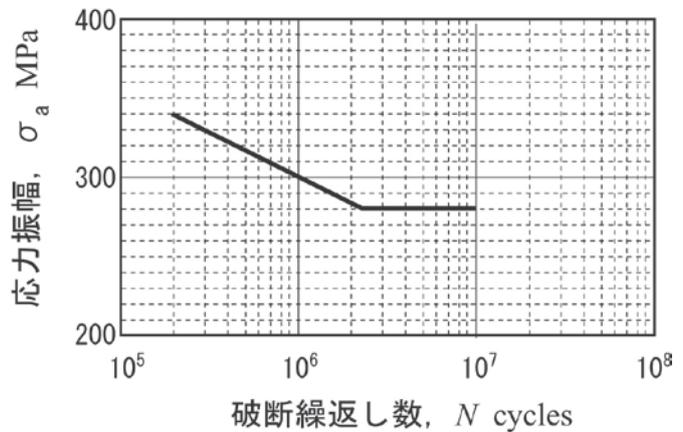
- (1) $\sigma = 10[\text{MPa}], E = 50[\text{GPa}], \gamma = 1.3 \times 10^{-3}$
- (2) $\sigma = 10[\text{MPa}], E = 100[\text{GPa}], \gamma = 2.6 \times 10^{-3}$
- (3) $\sigma = 10[\text{MPa}], E = 200[\text{GPa}], \gamma = 1.3 \times 10^{-3}$
- (4) $\sigma = 20[\text{MPa}], E = 50[\text{GPa}], \gamma = 5.2 \times 10^{-3}$
- (5) $\sigma = 20[\text{MPa}], E = 100[\text{GPa}], \gamma = 2.6 \times 10^{-3}$



***** (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】 鉄鋼材料の回転曲げ疲労試験をした結果、図の様な折れ点を有する $S-N$ 曲線が得られた。図から、鉄鋼材料の疲労限度 σ_{wl} 、応力振幅 330MPa に対する疲労寿命 N_f 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) $\sigma_{wl}=290\text{MPa}$, $N_f=2.0 \times 10^5$
- (2) $\sigma_{wl}=290\text{MPa}$, $N_f=3.0 \times 10^5$
- (3) $\sigma_{wl}=280\text{MPa}$, $N_f=2.0 \times 10^5$
- (4) $\sigma_{wl}=280\text{MPa}$, $N_f=3.0 \times 10^5$
- (5) $\sigma_{wl}=280\text{MPa}$, $N_f=1.0 \times 10^{5.3}$



【問 1 8】 材料の疲労強度に関わる以下の説明について、不適切なものを(1)~(5)の中から選択せよ。

- (1) アルミ合金などの非鉄金属の $S-N$ 曲線においては、明瞭な折れ点が現れず、 10^7 の繰返しを超えてもなお下がり続ける曲線となる場合がある。この場合、指定した破断繰返し数に対する時間強度を耐久限度設計の基準として用いることがある。
- (2) 炭素鋼などの鉄鋼材料の疲労限度は、引張強さや硬さなどと密接に関係があり、経験的な式として比例関係があることが知られている。したがって、引張強さや硬さを調べることで容易に疲労強度が推定できるが、引張強さで 1100MPa、ビッカース硬さで 400HV より大きい場合には過大評価になる可能性があるため、注意が必要である。
- (3) 平滑材を使って疲労試験を行う場合、試験片形状が幾何学的に相似であれば、一般的に寸法の大小に関係なく疲労強度は同じになる。したがって、大きな部材の疲労設計を行う場合においても、小さい試験片で行った疲労強度データを用いても特に問題はない。
- (4) 試験片表面の小さな傷や残留応力は、疲労強度に影響を与える可能性がある。そのため、試験片表面の傷を取り除く場合は、試験片表面に残留応力が残らないように丁寧に取り除く必要がある。
- (5) ショットピーニングなどの表面処理により付与された圧縮残留応力は、疲労強度の向上に有効であるが、疲労試験負荷応力と残留応力の和が材料の降伏応力を超えれば、その効果は減少する。

【問 19】 材料強度に関連する歴史的に有名な破壊事故の原因は、疲労設計に起因するものも多い。以下の(1)~(5)の事件事例のなかから、主要な破壊モードが低サイクル疲労であったと考えられているものを1つ選び、その番号を記せ。

- (1) 産業用ボイラーの爆発 (1870~1910 年)
- (2) 鉄道車軸の折損による脱線 (1842 年)
- (3) コメット機の空中分解 (1954 年)
- (4) 全溶接船 (リバティ号) スケネクタディ号の破壊 (1943 年)
- (5) もんじゅ温度計さや管の破断 (1995 年)

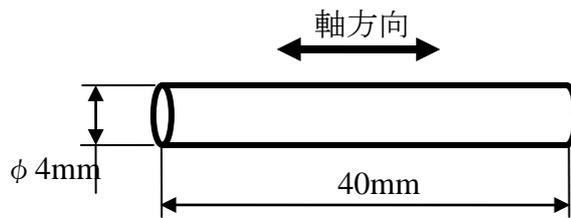
【問 20】 疲労強度設計に関する以下の説明について、不適切なものを(1)~(5)の中から選択せよ。

- (1) 疲労強度設計は、“疲労限度設計”，“疲労き裂発生寿命設計”および“疲労き裂進展寿命設計”の3つに大別される。その中で疲労限度設計に必要な基礎データは、き裂進展特性 ($da/dN-\Delta K$ 曲線) と下限界応力拡大係数範囲 (ΔK_{th}) である。
- (2) 疲労き裂の発生が即時に構造物全体の破壊をもたらすような機器を対象とした疲労設計方法を安全寿命設計という。安全寿命設計には、疲労限度設計と有限疲労寿命設計がある。安全寿命設計は過度に安全性を保証する過大設計になる場合がある。
- (3) 機器の破壊に対して、多経路荷重構造や二重構造、バックアップ構造などを設けることにより、致命的な事故を防止する方法をフェイル・セーフ設計という。この設計方法は航空機の設計において発達した概念である。
- (4) 疲労き裂を導く材料欠陥や加工キズなどの初期欠陥を許容した設計方法を損傷許容設計という。溶接構造物の余寿命評価に採用されている破壊管理制御設計は、損傷許容設計と同様の考え方に基づいている。
- (5) 疲労強度は統計的なバラツキを有することが一般に知られている。また、機器に作用する外力も統計的なバラツキを有する。疲労強度と外力の統計的バラツキの関係から破壊確率が決定され、破壊確率と対応して安全率が決定される。

【問 2 1】 図に示す直径 4mm，長さ 40mm の金属丸棒の軸方向に，引張変位が + l mm で圧縮変位が - l mm の繰返し強制変位負荷が作用する．この金属丸棒の低サイクル疲労強度（全ひずみ範囲－疲労寿命曲線）は式(A)で与えられている．この金属丸棒の繰返し設計寿命が 10^4 回である場合，ひずみ範囲の安全率 1.25 を満足する l の許容値は何 mm となるか．正しいものを(1)～(5)の中から選択せよ．

$$\Delta \varepsilon_t = 0.011N_f^{-0.091} + 1.1N_f^{-0.58} \quad (\text{A})$$

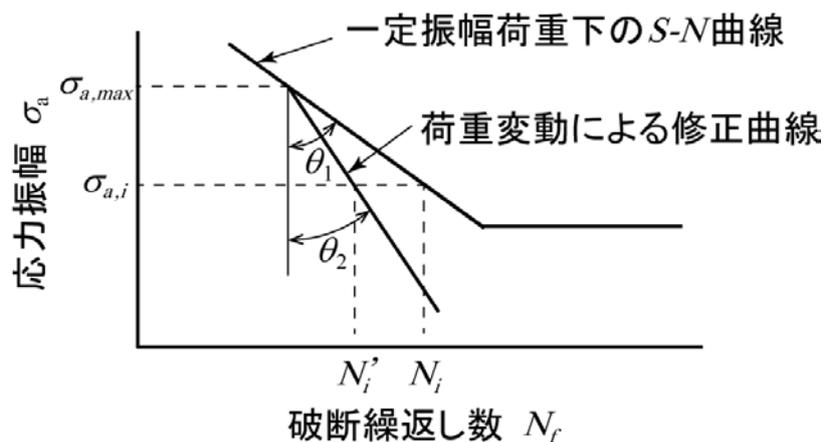
- (1) 0.12mm
- (2) 0.16mm
- (3) 0.20mm
- (4) 0.25mm
- (5) 0.30mm



図

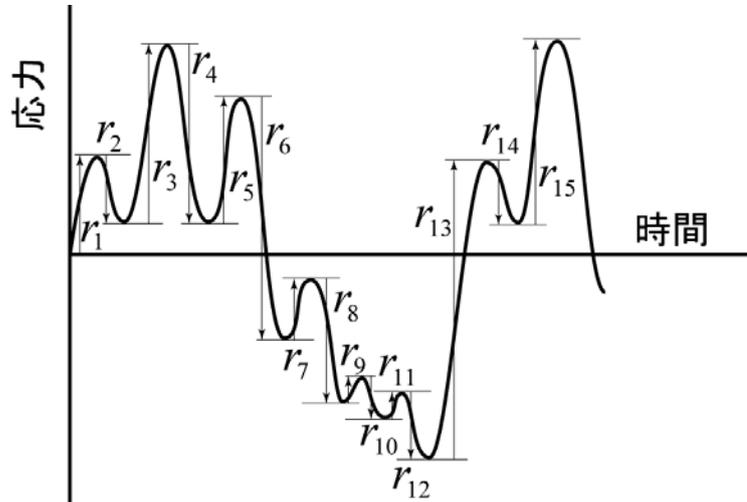
【問 2 2】 応力振幅や平均応力が頻繁に変動する実働荷重においては，一定振幅荷重下の $S-N$ 曲線を用いた線形累積損傷則では疲労寿命を過大に評価する場合がある．そのため下図に示すように，変動荷重に含まれる最大の応力振幅 $\sigma_{a,max}$ の点を基準として，この点から修正係数 $\beta (= \tan \theta_2 / \tan \theta_1)$ を用い，一定振幅荷重下の $S-N$ 曲線より傾きの急な新しい $S-N$ 曲線を求め，これにより各応力レベルに対する破断繰返し数 N_i' を見積り，線形加算により累積損傷値を求める方法が提案されている．その方法は何と呼ばれているか．正しいものを(1)～(5)の中から選択せよ．

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



【問 2 3】 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．正しいものを(1)～(5)の中から選択せよ．

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



【問 2 4】 文中の空欄(ア)，(イ)，(ウ)に入る最も適切な言葉の組合せを(1)～(5)の中から選択せよ．

引張り強さ 320[MPa]，完全両振り疲労限度が 160[MPa]の金属材料を用いて部材を作製した．この部材に最大応力 250[MPa]，最小応力 0[MPa]の繰返し応力が作用する場合を考える．この繰返し応力の応力振幅は [ア] [MPa]，平均応力は [イ] [MPa]であるから，グッドマン線図を用いるとこの部材は安全に使用 [ウ] と考えられる．

- (1) (ア) 80, (イ) 160, (ウ) できる
- (2) (ア) 80, (イ) 160, (ウ) できない
- (3) (ア) 125, (イ) 125, (ウ) できる
- (4) (ア) 125, (イ) 125, (ウ) できない
- (5) (ア) 125, (イ) 0, (ウ) できる