

2018年度

(公社) 日本材料学会 技能検定試験

技能種別：疲労試験



2018年9月14日(金)

13:30-15:00

日本材料学会 3階 会議室

(注意)

**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。**

(疲労試験・試験機の種別，疲労試験片)

【問 1】 疲労限度や疲労強度に及ぼす試験片の状態等に関する以下の記述の中で、不適切なものを一つ選び、その番号を示せ。

- (1) 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。
- (2) 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ことが多い。
- (3) 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。
- (4) 試験片に圧縮残留応力を生じさせる表面仕上げ加工や処理は疲労強度の向上につながるため、その応力値は大きければ大きいほど望ましい。
- (5) 幾何学的に相似な形状の試験片を用いて回転曲げ疲労試験を行った場合、寸法が大きい試験片ほど疲労強度は低くなる傾向がある。

(疲労試験・試験機の種別，疲労試験片)

【問 2】 以下の文章は疲労試験機に関して述べたものである。文章中の空欄(a)～(e)に入る言葉の組合せ(1)～(5)の中から、正しいものを一つ選び、その番号を示せ。

任意の応力比や任意の応力波形での疲労試験に適しているのは (a) である。(a) で $R=0$ の完全片振り試験を行うには、平均応力 σ_m を応力振幅 σ_a の (b) 倍に設定する。また、この (a) で応力比 $R=-1$ の試験を行うには、平均応力 σ_m を応力振幅 σ_a の (c) 倍に設定する。

疲労試験機には、試験開始から試験片が破断あるいは破損するまでの (d) を求められる装置を備えることが要求される。さらに、停電等で試験機が一旦停止した後には、自動的に再起動 (e) 機構を有していることも要求される。

- (1) (a) 軸力制御疲労試験, (b) 0, (c) 1, (d) 経過時間, (e) しない
- (2) (a) 軸力制御疲労試験, (b) 1, (c) 0, (d) 繰返し数, (e) しない
- (3) (a) 軸力制御疲労試験, (b) 1, (c) 1, (d) 繰返し数, (e) する
- (4) (a) 回転曲げ疲労試験, (b) 0, (c) 1, (d) 経過時間, (e) しない
- (5) (a) 回転曲げ疲労試験, (b) 1, (c) 0, (d) 繰返し数, (e) する

(疲労試験・試験機の種別，疲労試験片)

【問 3】 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、不適切なものを一つ選び、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) 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出来る。
- (3) 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。
- (4) 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。
- (5) 軸力制御疲労試験機では、平滑試験片を用いると、標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。

(疲労試験・試験機の種別, 疲労試験片)

【問4】降伏応力 $\sigma_y=250\text{MPa}$, 引張強さ $\sigma_B=400\text{MPa}$ の材料を用いて, 両振りの引張圧縮疲労試験を行ったときの疲労限度は $\sigma_{w0}=200\text{MPa}$ であった. この材料に 50MPa の平均応力を作用させて引張圧縮疲労試験を行う場合, その疲労限度をゾーデルベルク線で推定するとどれくらいになるか. (1)~(5)の中から選択して, その番号を示せ.

- (1) 150MPa (2) 155MPa (3) 160MPa (4) 165MPa (5) 170MPa

(疲労試験規格)

【問5】回転曲げ疲労試験において, 取り付けし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)~(5)の中から選択して, その番号を示せ.

- (1) 0.01mm (2) 0.05mm (3) 0.1mm (4) 0.5mm (5) 1mm

(S-N 曲線回帰法)

【問6】S-N 曲線回帰法に関する以下の記述の中で, 不適切なものを一つ選び, その番号を示せ.

- (1) 材料によって「疲労限度型 S-N 曲線」と「連続低下型 S-N 曲線」に分類して S-N 曲線を回帰する.
- (2) 「疲労限度型 S-N 曲線」で回帰する場合, 折れ点を繰返し数 10^7 回に設定しなければならない.
- (3) 日本材料学会標準の S-N 曲線回帰では, 片対数座標と両対数座標の両者を採用している.
- (4) 日本材料学会標準の「連続低下型 S-N 曲線」では, ストロマイヤーの式を基本とした回帰モデルを採用している.
- (5) 「連続低下型 S-N 曲線」は, 明確な疲労限度が現れないような材料の回帰に用いる.

(疲労の基礎 (SEM 観察))

【問7】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, 不適切なものを一つ選び, その番号を示せ.

- (1) 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ことがある.
- (2) 金属材料の疲労破面において, き裂進展の初期段階よりもき裂進展後期の方が, ストライエーション模様が明瞭に形成される傾向がある.
- (3) ストライエーション模様は, 疲労き裂の進展方向に平行に形成される.
- (4) 金属材料の疲労破面を SEM で観察すると, 応力の繰返しごとのき裂前縁の痕跡に対応するストライエーションと呼ばれる特徴的な模様が見られる.
- (5) 負荷荷重が大きい場合には, 疲労破面にラチェットと呼ばれる段差が見られることがある.

(疲労の基礎 (専門用語))

【問 8】 金属疲労に関する以下の記述の中で、不適切なものを一つ選び、その番号を示せ。

- (1) 疲労限度線図におけるゾーデルベルク線とは、縦軸上の両振り疲労限度を示す点と横軸上の降伏応力 σ_y を結んだ直線を意味するものであり、耐久設計における最も安全側の設計基準を与える。
- (2) 疲労試験を実施する際、応力比 R を固定して材料の $S-N$ 特性を調べることが多いが、最大応力を σ_{\max} とし、平均応力を σ_m とするとき、応力比は $R = \sigma_m / \sigma_{\max}$ で与えられる。
- (3) 多くの鉄鋼材料の $S-N$ 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、アルミニウム合金や銅合金などの非鉄金属では $S-N$ 曲線が連続的に低下して明瞭な疲労限度を示さないことが多い。
- (4) 疲労試験における応力振幅は、最大応力を σ_{\max} とし、最小応力を σ_{\min} とするとき、応力変動幅の半分、すなわち $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$ で与えられる。
- (5) 同じ材料で種々の直径の平滑試験片を準備して回転曲げ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は低下する傾向が知られており、これを疲労強度に対する寸法効果とよぶ。

(荷重検定)

【問 9】 疲労試験機の荷重検定に関する以下の記述の中で、不適切なものを一つ選び、その番号を示せ。

- (1) 軸荷重疲労試験機の荷重検定では、試験片の平行部にひずみゲージを貼り付けて自作した荷重検定器を用いても良い。
- (2) 回転曲げ疲労試験機では、運転中の曲げモーメントの計測が困難であることから、動的荷重検定はほとんど行われない。
- (3) 軸荷重疲労試験機の静的荷重検定は、JIS 規格の引張・圧縮試験機一力計測系の校正・検証方法に沿って実施しても良い。
- (4) 軸荷重疲労試験機を使って、ひずみ制御の低サイクル疲労試験を行う場合には、試験機の荷重検定は重要ではない。
- (5) 軸荷重疲労試験機の動的荷重検定方法を規定した JIS 規格はない。

(荷重検定)

【問 10】 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、不適切なものを一つ選び、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°C だった。
- (4) 力計の校正が間に合わなかったため、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。

(試験機維持・管理)

【問 1 1】 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と制御装置の点検に関する以下の記述の中で、不適切なものを一つ選び、その番号を示せ。

- (1) 保守点検で作動油および部品を交換する際、圧力が残っていると作動油が吹き出して人体に危害をおよぼす恐れがある。安全に作業をおこなうため、残圧がないことを必ず確認する。
- (2) 油漏れにより油圧タンク内の油面が異常に低下するとキャビテーションを起こして、ポンプを損傷したり油温が上昇したりする。これらを防止するために、常に基準油面近くに油面を維持する。
- (3) 油交換のときサクシオ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り付ける。目詰まりの状態で使用するとキャビテーションを起こし、異常音の発生、ポンプ故障の原因となる。
- (4) 制御装置を長い間使用せずにおくと、性能を低下させることにもなる。日常の手入れとして、3ヶ月に1度程度は電源を入れて動作を確認する。
- (5) 制御装置の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。ただし、適正に調整し設定されている調整用可変抵抗器は操作しないこと。

(安全規範)

【問 1 2】 荷重負荷装置の作業に係る安全規範に関する以下の記述の中で、不適切なものを一つ選び、その番号を示せ。

- (1) 運転後は、すみやかに試験片を取り外すようにする。
- (2) アクチュエータの動作範囲に手を入れない。
- (3) 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。
- (4) 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。
- (5) 運転中は、装置の異音や温度上昇を監視する。

(安全規範)

【問 1 3】 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あげられる。それらに関する以下の記述の中で、不適切なものを一つ選び、その番号を示せ。

- (1) 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。
- (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) 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。
- (4) 非常停止装置のボタンは、赤色で目立つ位置に設置する。
- (5) 試験装置運転中にむやみに近づくと危険であるので、点検をおこなう必要はない。

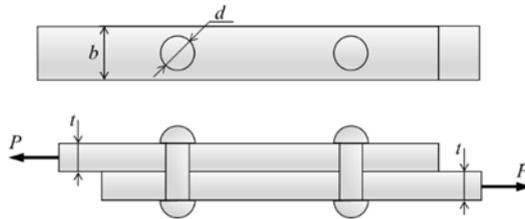
(SI 単位系)

【問 1 4】SI 単位系に関する以下の記述の中で、不適切なものを一つ選び、その番号を示せ。

- (1) 組立単位が一つの単位を他の単位で除して構成される場合、以下のいずれかの方法で記述する。また、同一の行に斜線を二つ以上重ねてはならない。
“例” 加速度は、 $\frac{m}{s^2}$ 、 m/s^2 あるいは $m \cdot s^{-2}$ と記述する。 $m/s/s$ とはしない。
- (2) 単位記号は直立体で表記し、複数形を用いずピリオドはつけない。量をあらわす全数字と単位の間には 1 字分の空白を置く。
- (3) 組立単位が二つ以上の単位の積で構成される場合には、以下のいずれかの方法で記述する。
“例” 力のモーメントは $N \cdot m$ 、 Nm あるいは mN であらわす。
- (4) SI 以外の単位ではあっても、現在も広く使われており SI との併用が認められている単位もある。
- (5) SI 単位の接頭語および 10 の整数乗倍は、数値が実用的な範囲になるよう用途に応じて選択する。具体的には、JIS Z 8203 の付属書に従うことが好ましい。

(材料力学の基礎)

【問 1 5】図のように、板厚 t 、幅 b の平板を直径 d の 2 本のリベットで結合する。この板に引張荷重 P を負荷したとき、リベットのせん断破壊および、平板の引張破壊を生じないために、リベットの直径 d が満たすべき範囲として正しいものを(1)～(5)の中から選択せよ。ただし、平板の引張強さを σ_b 、リベットのせん断強さを τ_b とする。



- (1) $\left(\frac{4P}{\pi\tau_b}\right)^{1/2} \leq d \leq b - \frac{P}{\sigma_b t}$
- (2) $\left(\frac{4P}{\pi\tau_b}\right)^{1/2} \leq d \leq b - \frac{2P}{\sigma_b t}$
- (3) $\left(\frac{2P}{\pi\tau_b}\right)^{1/2} \leq d \leq b - \frac{P}{\sigma_b t}$
- (4) $\left(\frac{2P}{\pi\tau_b}\right)^{1/2} \leq d \leq b - \frac{2P}{\sigma_b t}$
- (5) $\left(\frac{2P}{\pi\tau_b}\right)^{1/2} \leq d \leq b - \frac{P}{2\sigma_b t}$

【問 1 6】直径 26mm，長さ 370mm の丸棒が 30kN の引張荷重を受けて 2.2mm 伸びた。この丸棒に生じている応力 σ と，この丸棒の縦弾性係数 E として正しいものを(1)～(5)の中から選択せよ。

- (1) $\sigma=14.1$ MPa, $E=2.37$ GPa
- (2) $\sigma=14.1$ MPa, $E=84.0$ GPa
- (3) $\sigma=14.1$ MPa, $E=9.50$ GPa
- (4) $\sigma=56.5$ MPa, $E=9.50$ GPa
- (5) $\sigma=56.5$ MPa, $E=84.0$ GPa

***** (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】 疲労き裂開閉口に関する以下の記述の中で、正しいものを一つ選び、その番号を示せ。

- (1) エルバーによって提案されたき裂開閉口モデルは、き裂先端後方の残留引張りひずみ場に起因する、塑性誘起き裂閉口である。
- (2) 疲労破面の粗さは、き裂開閉口に寄与することはない。
- (3) き裂開口点を考慮した ΔK_{eff} を用いても、材料の微視組織が異なれば、 da/dN を一義的に評価することはできない。
- (4) き裂閉口を実測する間接的な方法はなく、き裂先端を顕微鏡で直接観察するのみである。
- (5) K_{max} 支配型となる第 II_c 段階の疲労き裂進展であっても、応力比の影響は ΔK_{eff} を用いて整理できる。

【問 1 8】 変動応力下の疲労き裂進展に関する以下の記述の中で、不適切なものを一つ選び、その番号を示せ。

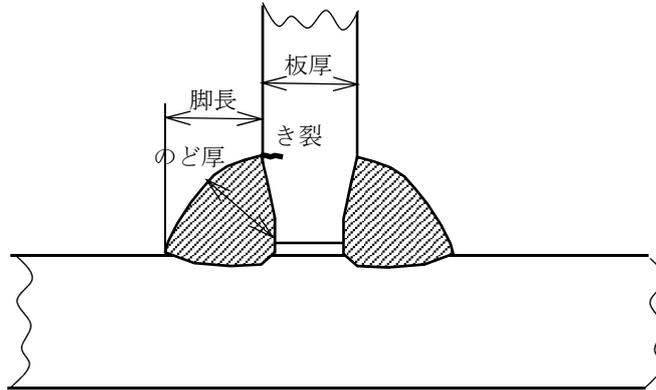
- (1) 実働応力下の疲労損傷については、まずは実働応力波形から疲労強度を支配する特性因子を抽出するために応力波形を計数する必要がある。
- (2) 変動応力下での疲労き裂の開閉点は、荷重履歴に依存する。
- (3) 変動応力下であっても、き裂開閉挙動を考慮した ΔK_{eff} を用いれば、 da/dN を定量評価する事が可能である。
- (4) 変動応力下では、条件によっては下限界応力拡大係数範囲 ΔK_{th} 以下の ΔK であっても、き裂進展が生じる場合がある。
- (5) 単一過大荷重でき裂先端が鈍化するような厳しい条件下でも、 ΔK_{eff} を用いれば、常に da/dN を定量評価する事が可能である。

【問 1 9】 ストライエーションに関する以下の記述の中で、不適切なものを一つ選び、その番号を示せ。

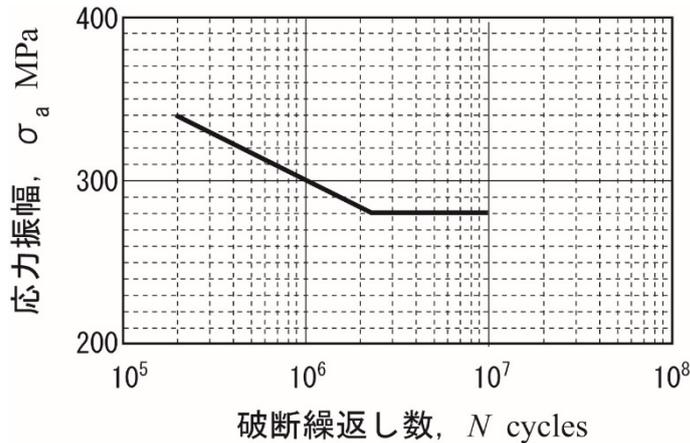
- (1) ストライエーションは縞状の模様であり、典型的な疲労破面である。
- (2) ストライエーションの間隔は 1 サイクル当たりのき裂進展量を表している。
- (3) 実用機器の疲労破面においては、最終破断の直前の領域でストライエーションが見られる。
- (4) き裂の上下面において、ストライエーションの山と山、谷と谷がそれぞれ対応している。
- (5) ストライエーションはき裂進展方向に対して凹に湾曲している。

【問 2 0】隅肉溶接止端部で高サイクル疲労き裂が生じた。当該部の疲労強度を向上する方法に関する以下の記述の中から、不適切なものを一つ選び、その番号を示せ。

- (1) 隅肉溶接部の脚長やのど厚を大きくする。
- (2) 仕上げにより溶接止端形状を滑らかにして、応力集中を緩和する。
- (3) ショットピーニングにより圧縮残留応力を付与する。
- (4) 流動性の良い溶接金属を止端部に溶接して、その止端形状を滑らかにする。
- (5) 疲労き裂の起点となるブローホールやアンダーカットなどの溶接欠陥を見逃さないよう、溶接施工後後に非破壊検査をする。



【問 2 1】鉄鋼材料の疲労試験を行った結果、下図の $S-N$ 曲線が得られた。この材料の試験片に対し、応力振幅 340MPa で 1.0×10^5 回、 260MPa で 1.0×10^6 回作用させた。この後に 300MPa を繰返し作用させた場合の破断繰返し数を、マイナー則と修正マイナー則で予測したい。マイナー則によって予測された N_{f1} と、修正マイナー則によって予測された N_{f2} 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) $N_{f1}=1.0 \times 10^5$ 回, $N_{f2}=1.0 \times 10^5$ 回
- (2) $N_{f1}=3.0 \times 10^5$ 回, $N_{f2}=5.0 \times 10^5$ 回
- (3) $N_{f1}=3.0 \times 10^5$ 回, $N_{f2}=3.0 \times 10^5$ 回
- (4) $N_{f1}=5.0 \times 10^5$ 回, $N_{f2}=3.0 \times 10^5$ 回
- (5) $N_{f1}=5.0 \times 10^5$ 回, $N_{f2}=3.0 \times 10^6$ 回

【問 2 2】 鉄鋼材料（降伏応力 $\sigma_Y=430\text{MPa}$ ，引張強さ $\sigma_B=560\text{MPa}$ ）の帯板材（幅 160mm，厚さ 10mm）の幅中央部に半径 40mm の円孔がある．この帯板材に応力比 $R=-1$ の引張圧縮の疲労荷重が作用した場合を考える．最大引張応力が作用した場合の円孔縁での応力集中係数 K_t と予測される疲労限度を与える際の応力振幅 σ_a 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．ただし，切欠き係数 K_f と応力集中係数 K_t は等しいものとする．

- (1) $K_t=3.0$, $\sigma_a=93\text{MPa}$
- (2) $K_t=3.0$, $\sigma_a=280\text{MPa}$
- (3) $K_t=2.42$, $\sigma_a=116\text{MPa}$
- (4) $K_t=2.42$, $\sigma_a=280\text{MPa}$
- (5) $K_t=2.15$, $\sigma_a=130\text{MPa}$

【問 2 3】 無限板中に長さ $2a=40\text{mm}$ のき裂がある．この無限板に，最大応力 $\sigma_{\max}=100\text{MPa}$ ，最小応力 $\sigma_{\min}=0\text{MPa}$ の繰返し応力が作用する．この無限板が破断するときのき裂長さ a_f と破断寿命 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．ただし，疲労き裂進展特性ならびに疲労破壊靱性値 K_{fc} は以下の式(A)～(C)に従うものとし， π は 3.14 とする．

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^m = 10^{-12} \Delta K^4 \quad \left(\frac{da}{dN} \text{の単位: } m/\text{cycle} \right) \quad (\text{A})$$

$$\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \quad \left(\Delta K \text{の単位: } \text{MPa}\sqrt{m} \right) \quad (\text{B})$$

$$K_{fc} = 55 \text{MPa}\sqrt{m} \quad (\text{C})$$

- (1) $a_f=0.0963\text{m}$, $N_f=2.01 \times 10^4$
- (2) $a_f=0.0963\text{m}$, $N_f=4.02 \times 10^4$
- (3) $a_f=0.0963\text{m}$, $N_f=5.07 \times 10^4$
- (4) $a_f=0.193\text{m}$, $N_f=4.55 \times 10^4$
- (5) $a_f=0.193\text{m}$, $N_f=5.60 \times 10^4$

【問 2 4】 図に示すような繰返し荷重を受ける切欠きを有する鉄鋼製の構造物において、切欠き底に両振りの繰返しひずみ振幅 $\varepsilon_a=0.0035$ が作用している。この切欠き底にき裂が発生するまでの繰返し回数を寿命と定義すると、推定される寿命 N_f として正しいものを(1)～(5)の中から選択せよ。

なお、以下に留意して解答すること。

- ・寿命の推定にはランガー則および表 A に示す機械的性質を用いる
- ・応力範囲 $\Delta\sigma$ は、材料の疲労限度 σ_w の 2 倍とする
- ・破断延性 ε_f は、表 A の絞り φ の値を用いて式(B)より求める
- ・疲労限度 σ_w は、表 A の引張強さ σ_B を用いて式(C)より求める
- ・計算は有効数字 3 桁で計算する

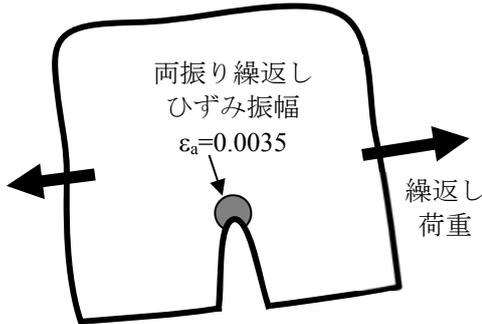


図 切欠きを有する構造物

表 A 構造材料の機械的性質

縦弾性係数 E (GPa)	引張強さ σ_B (MPa)	伸び δ (%)	絞り φ (%)
210	420	26.0	60.0

破断延性 ε_f : $\varepsilon_f = \ln\left(\frac{100}{100-\varphi}\right)$ 式(B)

疲労限度 σ_w の推定式: $\sigma_w = 0.5\sigma_B$ 式(C)

(1) $N_f=1,460$

(2) $N_f=8,390$

(3) $N_f=23,300$

(4) $N_f=33,600$

(5) $N_f=93,200$