

立命館大学 正 酒井達雄
立命館大学[院] 学 ○竹内和子

1. 緒言

本研究では、アモルファス合金薄帯 ($\text{Fe}_{78}\text{B}_{13}\text{Si}_9$) を対象として片振り引張疲労試験を行い、広範な応力域における確率疲労特性を明らかにした。また、応力比を $R=0.1$ と $R=0.5$ の2段階に設定し、最初に基本 S-N 特性を調べた後、寿命分布試験を行い、本材料の疲労寿命の分布特性を詳細に検討した。これらのデータを基礎として最後に疲労寿命分布の応力レベル依存性より本材料に関する P-S-N 特性の定量的解析を行った。

2 試料および実験方法

本実験で用いた材料は、単ロール液体急冷法により米国アライドシグナル社で作成されたアモルファス合金薄帯 ($\text{Fe}_{78}\text{B}_{13}\text{Si}_9$) であり、Metglas 2605S-2 なる商品名で市販されている。素材は代表的な、厚さ $25\ \mu\text{m}$ 、幅 50mm の薄帯である。実験にあたり、Fig.1 に示すような両側円弧切欠き試験片を切り出した。

アモルファス合金薄帯の疲労試験に際し、試験環境は常温大気中とし、繰返し速度を 50Hz の正弦波に設定した。さらに負荷条件として、応力比 $R=0.1$ および $R=0.5$ の2段階で片振り引張繰返し荷重を適用した。さらに、統計的疲労試験を行うにあたり、 $R=0.1$ については5応力レベルの各応力レベルあたり30本ずつ、 $R=0.5$ については5応力レベルの各応力レベルあたり10ないし12本程度の試験片を割り当てた。

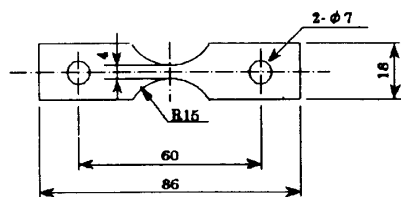


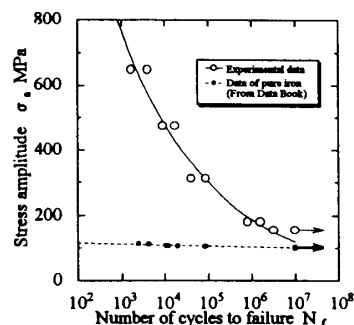
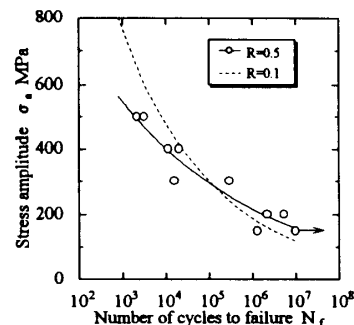
Fig.1 Shape of specimen

3 実験結果および考察

3・1 基本 S-N 特性

疲労試験は、先に述べたように応力比を $R=0.1$ と $R=0.5$ の2段階に設定して行った。アモルファス合金薄帯 ($\text{Fe}_{78}\text{B}_{13}\text{Si}_9$) に関し、 $R=0.1$ と $R=0.5$ について行った疲労試験結果をそれぞれ S-N 線図として示したものが Fig.2 および Fig.3 である。

広範囲にわたる鉄鋼材料に関し、耐久比 (σ_w / σ_B) は $0.4 \sim 0.6$ 程度の範囲に納まることが知られている。¹⁾ しかし、Fig.2,3 より、本材料の S-N 曲線の特徴より注目すべき点は、耐久比が 0.1 以下に

Fig.2 S-N curve ($R=0.1$, 50Hz)Fig.3 S-N curve ($R=0.5$, 50Hz)

なる点である。

すなわち、静的強度に関しては非常に優れた性質を持っているものの長寿命域の時間強度についてはかなり顕著な低下が現れ、本材料を長寿命域で使用する場合には十分な注意が必要である。

なお、Fig.2 で参考までに同時に示した純鉄の S-N 曲線より、純鉄の耐久限度は 150MPa 程度であることが分かる。本研究で用いたアモルファス材料をこれと比較すると、短寿命域での時間強度は著しく向上するが、耐久限度そのものはほとんど変化せず、上述のような S-N 特性を示したものと思われる。

次に Fig.3 には、Fig.2 で求めた $R=0.1$ の S-N 曲線を破線で示して $R=0.5$ との比較を試みる。両者を比較すると、応力振幅の増大とともに縦軸方向の差が顕著となり、応力比が高いほど時間強度が低下する傾向が認められる。しかし、繰返し数 10^7 付近の長寿命域ではこれらは収束しており、疲労強度に対する応力比効果がほとんど消失する特徴が見られる。この事実、本材料の耐久限度が応力比に依存せず、ほぼ一定値を示すことを意味するもので、本材料の疲労特性として一つの大きな特徴である。

3・2 疲労寿命分布

本研究では各種金属材料において取り扱いが定着している 3 母数ワイブル分布を基礎として本材料の確率疲労特性の定量的解析を試みる。3 母数ワイブル分布の分布関数は式(1)で与えられる。2), 3)

$$F(N) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{N-C}{B} \right)^A \right\} \quad (1)$$

ここに、A は形状母数、B は尺度母数、C は位置母数であり、相関係数法^{4)~9)}により推定した。

Fig.4,5 はそれぞれ、先に述べた応力比 0.1 と 0.5 の各応力レベルにおける疲労寿命分布をワイブル確率紙上にプロットしたものである。ランク法として、対称試料累積分布¹⁰⁾を採用した。

Fig.4 および Fig.5 より、図中の実線で示した分布関数は実験で得られた結果とよく一致しており、本材料の疲労寿命分布がワイブル分布でよく表せることが分かった。

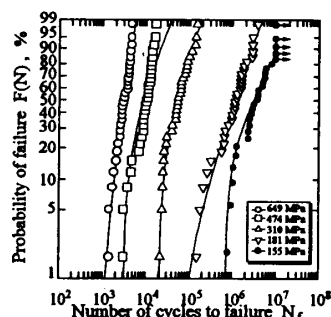


Fig.4 Fatigue life distributions (R=0.1)

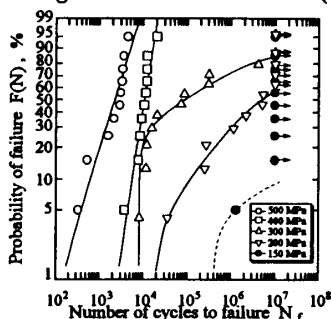


Fig.5 Fatigue life distributions (R=0.5)

3・3 P-S-N 特性

本材料の疲労寿命分布を構成する 3 母数の応力レベル依存性が前節において定量的に明らかにされたので、同時に本材料の P-S-N 特性を解析することが出来る。Fig.6 は、3・2 節で示した R=0.1 の統計的疲労試験結果をプロットしたものであり、図中の曲線群は、解析的に計算された P-S-N 曲線を示す。

図より、本研究において解析された P-S-N 特性は、実験で得られた広範囲にわたる応力域での確率疲労特性をよく表しており、ワイブル分布を基礎とした本研究の解析法が一つの試みとして十分な妥当性を示すものと考えられる。

なお、応力比 R=0.5 の統計的疲労試験について

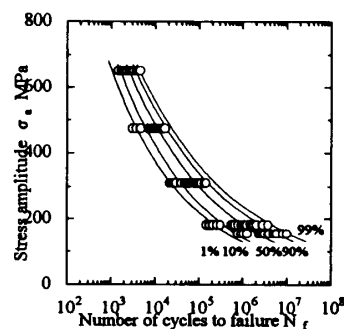


Fig.9 P-S-N characteristics (R=0.1)

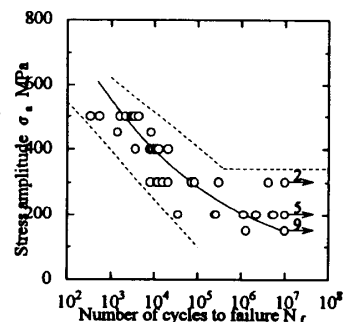


Fig.10 P-S-N characteristics (R=0.5)

は同一素材分量の制約上、十分な本数の試験片を準備できず、Fig.7 にその疲労試験結果の S-N 線図を示すに留めた。よってその代わりに寿命上限値および下限値を図中に破線で示している。

各応力レベルでの寿命下限値は図中の左側の破線で示すように、応力レベルの低下とともに直線的に増大する。ところが寿命上限値に着目すると $\sigma_a = 300\text{MPa}$ 以上の応力域では寿命下限値と同様の傾きで応力の低下とともに直線的に増大するが、300MPa 付近の応力レベルで急激にこの上限値が増大する特徴がある。

4. 結言

アモルファス合金薄帯 ($\text{Fe}_{78}\text{B}_{13}\text{Si}_9$) 試験片を多数準備して片振り引張繰返し荷重下で統計的疲労試験を実施し、確率疲労特性を調べた。本研究で得られた結果を以下に要約する。

1) 本材料の S-N 特性について、繰返し数 10^5 以下の短寿命域での時間強度は結晶化金属と比較して著しく改善されるが、長寿命域における時間強度は極端に低くなり、耐久限度そのものは純鉄のものほとんど変わらないことが分かった。

2) 応力比 R=0.1 および R=0.5 の実験結果をもとに、耐久限度特性を検討した結果、最大応力が引張強度より十分小さい範囲において疲労強度は平均応力に依存せず、ほぼ一定値を保つことが分かった。

3) 本材料の疲労寿命の分布特性に関して、3 母数ワイブル分布により定量的によく表示できることが分かった。また、ワイブル 3 母数の応力依存性より、広範な応力域にわたる疲労寿命の分布特性が合理的に説明できることが分かった。

参考文献 略