

2 材料の疲労強度

2.1 S-N 曲線と疲労強度

材料や構造部材の疲労に関する特性を決定するときの基準となるデータは、疲労試験 (fatigue test) によって得られる。もっとも基本的な疲労試験は、前章の図 1.11 に示したような規則的に変化する正弦波応力を試験片に負荷して、破断するまでの応力の繰返し数を調べる試験である。このときの応力繰返し数を破断繰返し数 (number of cycles to failure) N_f または疲労寿命 (fatigue life) という。図 1.11 に示された 1 サイクル中の応力の最大値を σ_{max} 、最小値を σ_{min} で表すと、繰返し応力の変動は、動的な変動成分に相当する応力振幅 (stress amplitude)

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (2.1)$$

ならびに静的な成分に相当する平均応力 (mean stress)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (2.2)$$

もしくは、最大値と最小値の比である応力比 (stress ratio)

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_m - \sigma_a}{\sigma_m + \sigma_a} \quad (2.3)$$

によって特徴づけられる。そのほかに、応力の全変動幅は応力範囲 (stress range) $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$ によって表される場合もある。

代表的な疲労試験機は、図 2.1(a) に示すように、一定

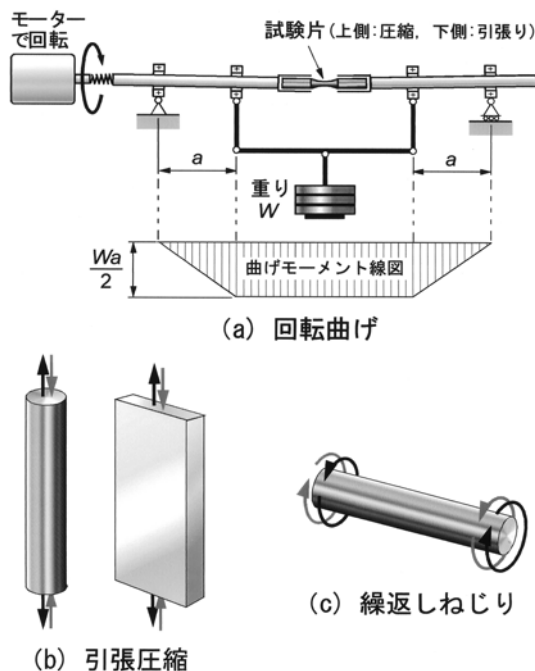


図 2.1 疲労試験の代表的な負荷様式

の曲げモーメントを作用させた丸棒を回転させる回転曲げ疲労試験機である。この試験機では、試験片表面に平均応力 $\sigma_m = 0$ ($R = -1$) の正弦波応力が繰返し負荷される。そのほかに、図 2.1(b) と (c) のように、引張圧縮疲労試験や繰返しねじり疲労試験も目的に応じて行われる。

疲労試験結果を応力 (縦軸) と破断繰返し数 N_f (横軸) の関係で示した線図は S-N 曲線 (S-N curve) またはウェーラー曲線 (Wöhler curve) といわれ、疲労強度設計の基礎データとして用いられる。縦軸には応力振幅 σ_a 、横軸には破断繰返し数の対数值 $\log N_f$ をとることが多いが、縦・横軸ともに対数をとることもある。一般に流通している金属材料の S-N 曲線は、市販のデータ集¹⁾ から得ることができる。

図 2.2 に回転曲げ疲労試験で得た S-N 曲線の例を示す。より小さな応力に対して破断までにより多くの繰返しが必要であることは想像できるであろう。すなわち S-N 曲線は右下がりの傾向を示す。ただし、図 2.2 に示した S45C 焼なまし材のような低・中強度の鉄鋼材料では、S-N 曲線は $N < 10^7$ で折れ点 (knee point) と呼ばれる点で曲がり、それ以後は水平となる。折れ点以下の応力をいくら繰り返しても破断しないので、この限界応力を疲労限度 (fatigue limit) または耐久限度 (endurance limit) という。疲労限度は疲労強度設計の重要な基準応力である。また特定の破断繰返し数に対する S-N 曲線上の応力を時間強度 (strength at N cycles) という。一方、黄銅や図 2.2 に示したアルミニウム合金などの非鉄金属では、S-N 曲線に明瞭な折れ点が現れず、 10^7 回の繰返しを超えてもなお下がり続ける曲線となる。なお、鉄鋼材料でも高温や腐食環境では折れ点がなくなって疲労限度は存在しなくなるので、基準応力の設定には注意が必要である。このように折れ点が

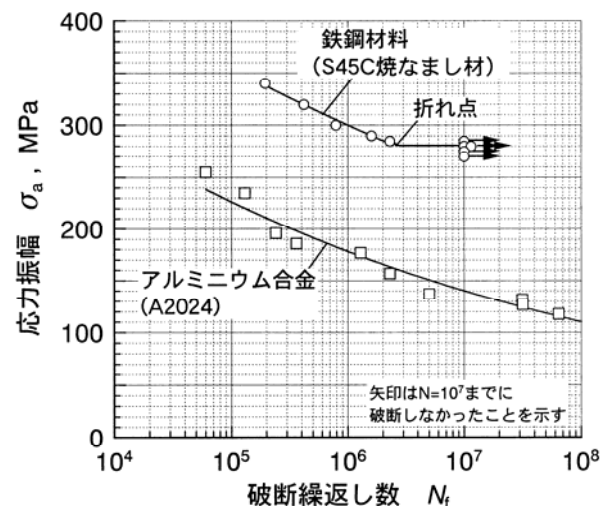


図 2.2 S-N 曲線 (回転曲げ疲労)