

Q

低サイクル疲労の試験と試験結果の適用が、応力ではなく、ひずみを基準としている理由はなぜなのでしょう。

参照 QNo. :FA-02, FA-05, FA-16, FA-20, FA-28

A

一般に機器の設計では、応力を降伏応力以下に制限する(弾性設計)。したがって、設計で想定する破壊モードは高サイクル疲労(弾性疲労)であり、応力振幅を許容値(所定の時間強度または疲労限度)以下に制限する。高サイクル疲労試験は荷重制御両振り(平均応力 0, 応力比 -1)が基本で、高サイクル疲労の $S-N$ 曲線は縦軸が応力振幅、横軸が疲労寿命(破壊までの繰返し数)である。

一方、一次応力に加えて二次応力(拘束応力, 熱応力など)とピーク応力(応力集中)がある場合には、応力が降伏応力を超える設計を許容している(解析による設計)。この場合に、破壊モードは低サイクル疲労(塑性疲労)となる。

典型的な例として、片振り(平均応力=応力振幅, 応力比 0)の荷重が繰返される場合に、切欠き底の塑性域における応力-ひずみ関係を図 1 に示す。負荷が荷重制御の片振りであるにもかかわらず、塑性域における応力-ひずみ関係は、周囲の弾性域における変形に拘束され、ひずみ制御の両振りとなる。これを模擬するために、低サイクル疲労試験はひずみ制御両振りが基本で、低サイクル疲労の $S-N$ 曲線は縦軸がひずみ振幅、横軸が疲労寿命(通常は、25%荷重低下の繰返し数)である。

荷重制御両振り疲労試験の $S-N$ 曲線(σ_a-N_f 曲線)とひずみ制御両振り疲労試験の $S-N$ 曲線(ε_a-N_f 曲線)を比較して、図 2 に示す。後者の縦軸は仮想弾性応力振幅 $E\varepsilon_a$ である。高サイクル疲労の領域では、両者の $S-N$ 曲線は一致する。低サイクル疲労の領域では、前者の $S-N$ 曲線は応力振幅 σ_a の増大に伴い徐々に後者の $S-N$ 曲線よりも下側に位置するようになり、最後は水平線で示す引張強さの値で頭打ちとなる。これは荷重制御両振り疲労試験では、引張側にひずみが累積することにより(繰返し変形, 疲労変形), 断面積が徐々に減少し、最終的に延性破壊するからである。すなわち、低サイクル疲労の領域では、ひずみ制御両振り疲労試験の結果が、正しい疲労破壊の $S-N$ 曲線を与える。荷重制御両振り疲労試験の結果は、破壊モードが疲労破壊ではなく、疲労変形となるケースの見掛け上の $S-N$ 曲線にすぎない。

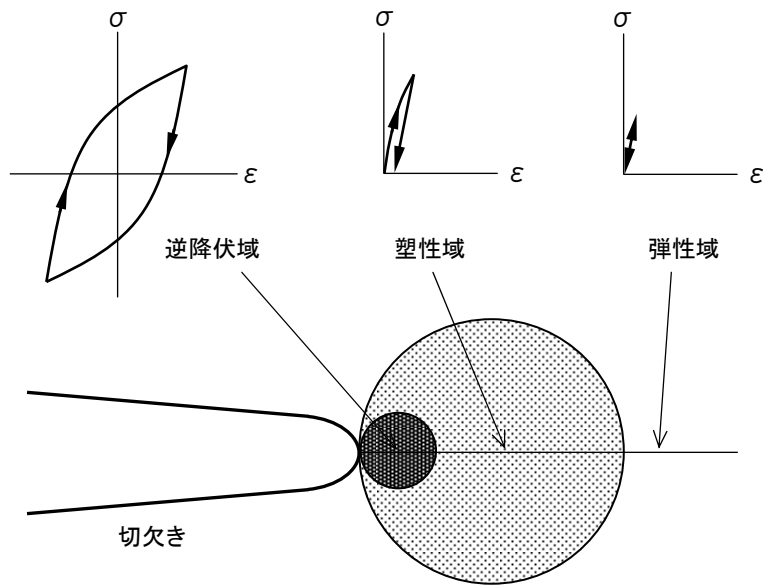


図1 切欠き底の塑性域におけるひずみ履歴

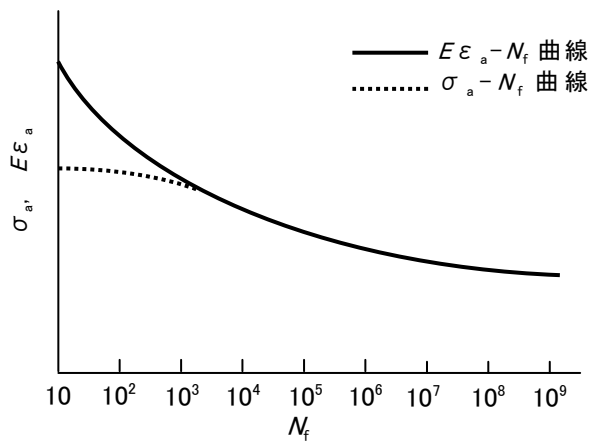


図2 ひずみ制御両振り疲労試験と荷重制御両振り疲労試験の $S-N$ 曲線の比較
(概念図)