

Q

平均応力と応力集中が重畳する場合の疲労強度の解析方法を教えてください。

参照 QNo.: FA-15, FA-20, FA-22, FA-47, FC-14, FC-15

A

最適疲労曲線を適用して疲労解析を行う場合には、縦軸の応力振幅に、平均応力と応力集中のそれぞれの影響を考慮する必要がある。しかし、両者が重畳する場合には、両者を考慮する順序の影響は明確にされていない。また、設計疲労曲線の縦軸の応力振幅には、平均応力の補正がされている場合がある。この場合には、両者を考慮する順序に選択の余地はない。

平均応力と応力集中が重畳する場合の疲労強度の解析方法では、応力集中、すなわちピーク応力を先に算定し、次に平均応力の影響を算定する。平均応力の補正に修正 Goodman 法を適用する場合、解析の順番を誤ると、結果が異なるために、注意が必要である。

修正 Goodman 法を適用する具体例を示す。修正 Goodman 線図は、縦軸に平滑材の両振り疲労試験(平均応力 $\sigma_m=0$) より得られた疲労強度 σ_{a0} で基準化した応力振幅 σ_a/σ_{a0} 、横軸に引張強さ σ_B で基準化した平均応力 σ_m/σ_B を設定し、与えられた応力振幅 σ_a と平均応力 σ_m での疲労強度を予測する方法であり、式(1)で示される。

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{a0}} = 1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_B} \quad (1)$$

式(1)を書き直すと、式(2)のように疲労限度 σ_{a0} が平均応力を補正した等価応力振幅 σ_{aeq} となる。

$$\sigma_{aeq} = \frac{\sigma_a}{1 - \sigma_m/\sigma_B} \quad (2)$$

この等価応力振幅 σ_{aeq} を用いて、平均応力と応力集中が重畳する場合、解析の順序の影響を検討する。

平均応力の補正を先にした後にピーク応力を算定すると、等価応力振幅 σ_{aeq} に応力集中係数 α を乗じた式(3)になり、ピーク応力の応力振幅 σ_{0a} にのみ、応力集中係数 α を乗じた形になる。

$$\alpha\sigma_{aeq} = \frac{\alpha\sigma_{0a}}{1 - \sigma_{0m}/\sigma_B} \quad (3)$$

ピーク応力を先に算定した後に平均応力の補正をすると、ピーク応力の応力振幅 σ_{0a} とピーク応力の平均応力 σ_m のそれぞれに応力集中係数 α を乗じた後に、式(2)の等価応力振幅 σ_{aeq} を適

用することになり, 式(4)の形になる.

$$\sigma_{aeq} = \frac{\alpha \sigma_{0a}}{1 - \alpha \sigma_{0m} / \sigma_B} \quad (4)$$

修正 Goodman 法は式(3)のように, 平均応力の補正を先にした後にピーク応力を算定する場合が, 実験結果を保守的に評価することから一般的に使用されているが, 順序を考慮すると式(4)の場合が正しい. ただし, 式(4)の適用は, さらに保守的な評価となる.

一方, 式(5)に示す Smith-Watson-Topper(SWT)法は, ピーク応力の算定と平均応力の補正の順序による影響を受けない. 式(6)を参照して, 平均応力の補正を先にした後にピーク応力を算定しても, ピーク応力を先に算定した後に平均応力の補正をしても, 等価応力振幅 $\alpha \sigma_{aeq}$ は同じになる.

$$\sigma_{aeq} = \sqrt{\sigma_a \sigma_{max}} = \sqrt{\sigma_a (\sigma_a + \sigma_{mean})} \quad (5)$$

$$\alpha \sigma_{aeq} = \alpha \sqrt{\sigma_a \sigma_{max}} = \sqrt{\alpha \sigma_a \alpha \sigma_{max}} \quad (6)$$

[参考文献]

- (1) K. N. Smith, P. Watson and T. H. Topper, A Stress-Strain Function for the Fatigue of Metals, Journal of Materials, : Vol.5, No.4, Dec.1970, pp.767-768.