

Q

疲労強度に及ぼす平均応力の評価法を教えてください。

参照 QNo.: FA-04, FA-47, FC-14

A

図 1 に示すように、一般に引張り平均応力 ($\sigma_m > 0$) は、疲労強度および疲労寿命を低下させ、圧縮平均応力 ($\sigma_m < 0$) は疲労寿命を増加させる。

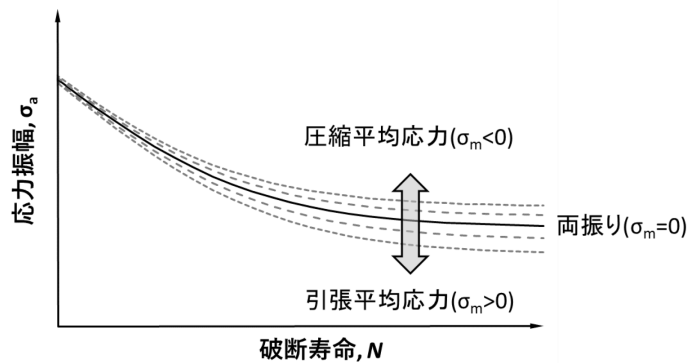


図 1 平均応力 σ_m が作用したときの $S-N$ 曲線

低サイクル疲労では、負荷されるひずみ範囲は大きく、シェークダウンを生じ平均応力はほぼ緩和されるため、平均応力を考慮する必要はない。高サイクル疲労において引張り平均応力 σ_m の影響を考慮するには、疲労限度線図を用いる。疲労限度線図とは、縦軸に応力振幅 σ_a 、横軸に σ_m をとり、疲労限度を与える σ_a と σ_m の関係を表した図である。

従来より、以下に示す様々な疲労限度線図が提案されており、疲労設計規格類では修正グッドマン線図がよく用いられてきた。

ガーバー (Gerber) 線図:
$$\sigma_a = \sigma_{w0} \left\{ 1 - \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_B} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

修正グッドマン (Goodman) 線図:
$$\sigma_a = \sigma_{w0} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_B} \right) \quad (2)$$

ゾーデルベルク (Soderberg) 線図:
$$\sigma_a = \sigma_{w0} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_y} \right) \quad (3)$$

ここで、 σ_{w0} は両振り疲労限度、 σ_B は引張強さ、 σ_y は降伏応力である。

現在は、Smith, Watson, Topper⁽¹⁾の提案した式(4)が、修正グッドマン線よりも実験結果とよく一致することが、オーステナイトステンレス鋼、炭素鋼および低合金鋼に対して平均応力補正法の再検討を行った日本溶接協会の DFC2 小委員会⁽²⁾により明らかにされている。

Smith-Watson-Topper 法:
$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_a \sigma_{max}} \quad (4)$$

ここで、 σ_{max} は 1 サイクル中の上限応力、 σ_{eq} は両振りに換算した等価応力である。

ここで示した平均応力の補正法は、いずれも疲労限度に対する知見に基づくものである。しかし、疲労解析を実施するうえで、有限寿命に対する平均応力補正も必要となることもある。有限寿命域においては、最大応力が降伏応力を超えることもある。最大応力が降伏応力を超える場合には、弾完全塑性体を仮定し、引張平均応力を式 (5) のように σ_m' に補正してから、式 (1) ~ (4) を用いなければならない。

$$\begin{aligned} \sigma_a + \sigma_m &\geq \sigma_y \text{ のとき} \\ \sigma_m' &= \sigma_y - \sigma_a \end{aligned} \tag{5}$$

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 (1970) pp.767-768.
- (2) (一社) 日本溶接協会原子力研究委員会 FQA2 小委員会ナレッジプラットフォーム公開資料
(2017年):DFC2 小委員会「設計疲労線図の策定に係る調査(平成 27 年度報告書)」.