



複数の応力振幅を含む変動応力が作用する場合、一定応力振幅の疲労限度以下の応力振幅は無視して疲労寿命を予測しても問題ないでしょうか。

参照 QNo.: FA-07, FA-21, FA-24, FA-25, FC-05



一般に、疲労限度以下の応力振幅だけの変動応力では、疲労破壊は生じない。一方で、疲労限度以上の応力振幅と疲労限度以下の応力振幅の組合せの場合、疲労限度以下の応力振幅も考慮して疲労寿命を予測する必要がある。

変動応力の場合には、累積損傷則による寿命予測を行う。応力振幅 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$ がそれぞれ n_1, n_2, \dots, n_k 回作用する場合、図 1 に示す S-N 曲線で応力振幅に対応する疲労寿命 N_1, N_2, \dots, N_k を算定し、式(1)で表示される累積損傷値 D が 1 を超える場合に疲労破壊が生じると仮定する⁽¹⁾。

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} \quad (1)$$

累積損傷則のうちのマイナー則は、図 1 に示すとおり、疲労限度以下の応力振幅 σ に対する疲労寿命 N は無限大であり、 D に寄与しない。

疲労限度以上の応力振幅だけの変動応力の場合、S-N 曲線を最適疲労曲線とすれば、マイナー則の⁽¹⁾実測値は $D=0.1 \sim 10$ となる。したがって、S-N 曲線を設計疲労曲線(疲労寿命の設計係数 10 以上)とすれば、疲労寿命は保守的に予測できる。

しかし、疲労限度以上の応力振幅の小回数と疲労限度以下の応力振幅の多数回の組合せの変動応力の場合、疲労限度以下の応力振幅の多数回が疲労寿命に寄与し、マイナー則の実測値が $D=0.01$ 程度で疲労破壊した実例がある。新幹線鋳鋼台車枠で計測された応力頻度分布の例⁽²⁾⁽³⁾を図 2 に示す。疲労限度約 10kg/mm^2 (98MPa) 以下の小応力振幅は、かなりの頻度で発生している。多くの場合、実機では多数回の疲労限度以下の小応力振幅と少数回の疲労限度以上の大応力振幅の組合せの変動応力が作用するため、疲労寿命の予測には多数回の疲労限度以下の小応力振幅の考慮が必要である。

変動応力の場合の累積損傷則として、修正マイナー則が広く用いられている。修正マイナー則では、図 1 のように疲労限度以下にまで S-N 曲線を延長し、式(1)を適用することで、疲労限度以下の応力振幅の寄与を考慮している。修正マイナー則を用いると実機の変動応力の場合に、保守的な疲労寿命の予測が得られることが実験的に確かめられている。

図 1 に示した S-N 曲線は、両対数表示、二直線近似の模式図である。実際の S-N 曲線は名称通り一本の曲線であり、明確な疲労限度を示さない場合が多い。この場合には、S-N 曲線の $N=2 \times 10^6$ 回を境いとして、その点以下に両対数表示で適当な勾配(例えば $1/10$)の S-N 直線を設定する。変動応力の場合の疲労寿命の予測には、上記の S-N 関係(曲線と直線の組合せ)と式(1)の累積損傷則を適用する。これをハイバツハ則⁽⁴⁾という。修正マイナー則は過度に保守的な予測となる

が、ハイバツハ則は適度に保守的な予測となる。

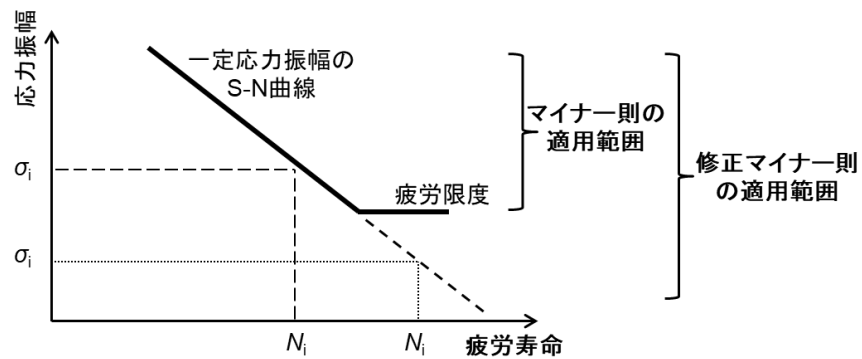


図1 マイナー則および修正マイナー則で使用する S-N 曲線

- ・原論文の記載に基づき横軸を修正⁽³⁾
- ・S-N線図: 疲労試験により取得
- ・σ-n線図: 走行区間 1.78kmの変動応力をカウントした際の応力振幅 σ と回数 n の関係

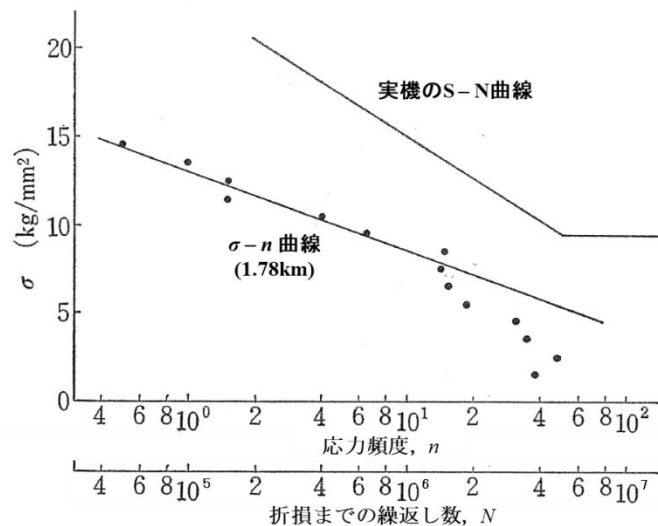


図2 実機(新幹線鋳鋼台車枠)の応力頻度分布の例⁽²⁾⁽³⁾

[参考文献]

- (1) Miner, M. A. , Cumulative Damage in Fatigue, Journal of Applied Mechanics, vol.12, No.3, (1945), A159-A164.
- (2) 中村宏, 田中真一, 機械の疲れ寿命算出法, 養賢堂, (1975).
- (3) 中村宏, 上田四朗, 中井竜夫, 台車わくの強さに関する一試験例, 日本機械学会誌, vol.61, No.478, (1958), pp.1367-1373.
- (4) Haibach, E. , Modified linear damage accumulation hypothesis accounting for a decreasing fatigue strength during increasing fatigue damage, Fatigue on Welded Structures, (1970).