

(I - 1) 破壊力学の手法を用いた疲労設計曲線の設定

群馬大学 学生会員 吉澤 努
群馬大学 正会員 坂野昌弘
東京工業大学 正会員 三木千壽

1. はじめに

ECCS疲労設計指針¹⁾では、疲労設計曲線について一定振幅応力に対する疲労限の他に新たに変動応力に対する打ち切り限界を設定している。しかし、それらの限界値は全ての継手分類について一律にそれぞれ応力繰返し数500万回および1億回に対する疲労強度として定義されているため、継手の種類によっては設計曲線が疲労試験結果に適合しない場合が生じる。したがって、そのような限界値の設定は各種継手の長寿命疲労特性を十分に反映させて行う必要がある。本研究では、破壊力学の手法を用いた疲労亀裂進展解析により、疲労設計曲線の一定振幅応力に対する疲労限と変動応力に対する打ち切り限界の設定を試みた。

2. 解析方法

解析対象として図-1に示す4種類の代表的な溶接継手を選定した。これらのうち、FG継手についてはフイレットの有無および曲率半径により3ケース設定した。変動応力頻度分布は、図-2に示す3種類を設定した。応力範囲 S_r の超過累積確率 $P(S_r/S_{rmax})$ は式(1)の2パラメータWeibull分布で表される。

$$P(S_r/S_{rmax}) = \exp\{-(S_r/S_{rmax})^k \cdot \ln N_0\} \quad (1)$$

ここに、 k はWeibullパラメータ、 N_0 は最大応力範囲 S_{rmax} が一回だけ発生するような応力繰返しのブロック長さを表す。疲労亀裂進展速度 da/dN と応力拡大係数範囲 ΔK の関係は、溶接部に対して最も安全側に設定された式(2)²⁾を用いた。

$$da/dN = 2.7 \times 10^{-11} \cdot \Delta K^{2.75} \quad (\Delta K > \Delta K_{th}) \quad (2)$$

ここで、 $\Delta K_{th} = 2.0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 、 da/dN の単位は m/cycle である。変動荷重に対しては、各応力範囲成分から計算した ΔK が ΔK_{th} を越える場合のみ亀裂が進展すると仮定した。初期亀裂深さは著者らが疲労破面の亀裂発生位置で観察したフアセット状破面の深さ³⁾を参考に安全側として 0.1 mm を仮定し、限界亀裂深さはBT, RB, WG継手では板厚の80%、FG継手では板幅の80%と仮定した。

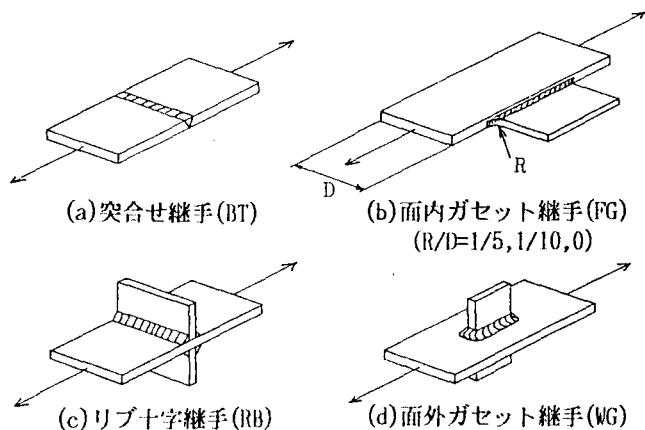


図-1 解析対象 (板厚25mm、板幅200mm)

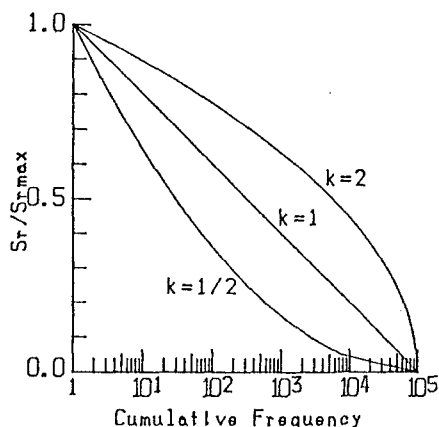


図-2 変動応力範囲累積頻度分布

3. 解析結果と考察

図-3に一定振幅応力下の疲労寿命曲線を示す。継手の種類によって異なる応力繰返し数で疲労限を生じており、疲労限が小さいほど疲労限を生じる応力繰返し数は大きくなる。

図-4にBT継手に対する変動応力下の疲労寿命曲線を示す。縦軸の S_{req} は2.75乗平均値として求めた等価応力範囲である。変動応力下の疲労寿命曲線は一定振幅応力下の疲労限以下の低応力域においても低下し続けるが、長寿命域での曲線形状は応力範囲頻度分布により大きく異なっており、小さい応力範囲成分の割合が大きいほど、($k=2 \rightarrow 1 \rightarrow 1/2$ の順に)寿命曲線は直線に近くなる。このように変動応力の種類によって長寿命域の疲労寿命曲線形状が変わることが疲労設計曲線を設定する上で一つの問題点となる。

本研究では、変動応力範囲頻度分布に対して高応力側から計算したマイナー和が1に達したときの応力範囲を変動応力に対する打ち切り限界として設定した(図-5参照)。このようにして求めた疲労設計曲線を図-6に示す。打ち切り限界は、一定振幅応力下の疲労限と同様に継手の種類によって異なる応力繰返し数で生じており、打ち切り限界が小さいほど折れ曲がり位置は長寿命側となる。

4. おわりに

一定振幅応力に対する疲労限および変動応力に対する打ち切り限界の生じる応力繰返し数は継手の種類によって異なり、それらの限界値が小さいほど長寿命側となる。

[参考文献] 1)ECCS: Recommendations for the Fatigue Design of Steel Structures, 1985. 2)日本鋼構造協会: 疲労設計指針(案), 1989. 3)池田・坂野・三木: 第17回関東支部技術研究発表会概要集, 1990, 3.

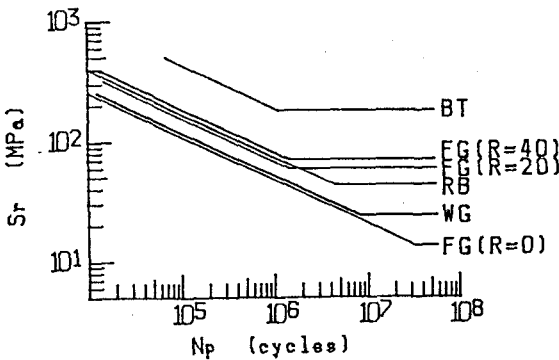


図-3 一定振幅応力下の疲労寿命曲線

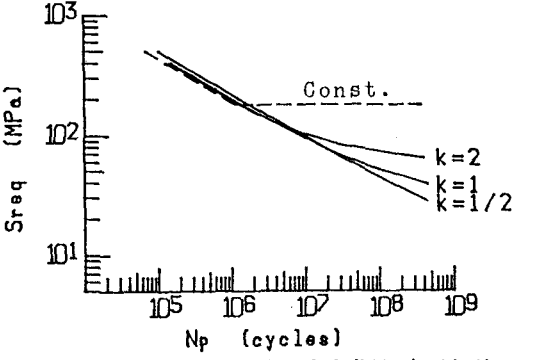


図-4 変動応力下の疲労寿命曲線 (BT継手)

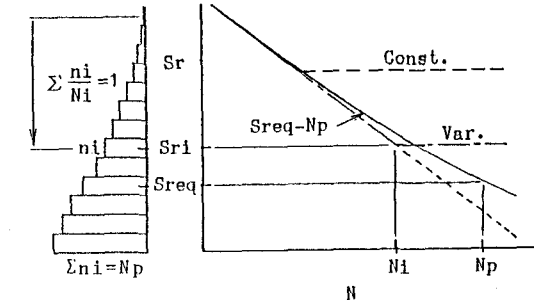


図-5 変動応力に対する打ち切り限界の設定

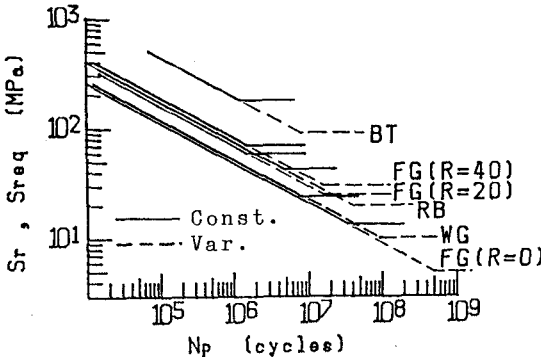


図-6 打ち切り限界を設定した疲労設計曲線