

東京大学工学部 学生員 長谷川金二
東京大学工学部 正員 西野 文雄
東京大学工学部 正員 三木 千寿

1. はじめに

構造部材に生ずる応力は時間とともに変動し、その振幅が一定と見なせない場合が多い。従って、破壊力学の手法を疲れ寿命の推定に適用するには、疲れきれつ進展に対する変動応力の影響を明らかにする必要がある。実構造物では疲れきれつ進展速度(da/dn)が低い領域でのきれつ進展が全寿命に占める割合が大きい。そこで、本研究では一定振幅応力中に過大応力が混入した波形を中心とした変動応力下で、特に下限界応力拡大係数範囲(ΔK_{th})を含めた応力拡大係数範囲(ΔK)が小さい領域を主に対象とした疲れきれつ進展試験を行ない、有効応力と線形被害則に基づいた m 乗平均値の適用性について検討した。

2. 試験方法

供試鋼材は 80 kg/mm^2 級の調質型高張力鋼(HT80)である。FIG.1に試験体の寸法を示す。試験は動的能力 $\pm 5\text{ ton}$ の電気油圧式疲労試験機を使用して行なった。きれつ長さは、きれつのレプリカをとり50倍の投影拡大鏡で測定した。3種類の試験波形をFIG.2に示す。

3. 試験結果および考察

FIG.3に ΔK 漸減法から求めた、応力比 $R = 0$ で一定振幅応力下の $da/dn \sim \Delta K$ 関係を示す。 ΔK_{th} は、応力を下げたことによる遅延現象を生じさせないために次式を満足させつつ ΔK を小さくして求めた。

$$d(\Delta K)/da \geq -10\text{ kg/mm}^{3/2} \quad (1)$$

図中の実線は、 $\Delta K \geq 40\text{ kg/mm}^{3/2}$ での試験結果から最小2乗法により求めた直線で、次式で表わされる。

$$da/dn = 9.84 \times 10^{-10} (\Delta K)^{2.45} \quad [\Delta K: \text{kg/mm}^{3/2}] \quad (2)$$

FIG.3にはType 1に示す過大応力混入試験の結果も、 ΔK として $0 \sim \sigma_1$ に対応する ΔK_1 をもって示している。過大応力によりきれつ開口レベルが上昇し、遅延効果が生じる。本試験においても過大応力の影響で、過大応力混入間隔(ΔN)が $10^2, 10^4$ のときに遅延現象が表われている。遅延現象は ΔK_1 が小さい領域で顕著であり、 ΔK_1 が大きくなるに従い過大応力の影響は小さくなっており、 ΔK_1 が $100\text{ kg/mm}^{3/2}$ 程度になると過大応力の影響はほとんどなくなっている。きれつ開口レベルの測定から、 $\sigma_2/\sigma_1 = 1.5$ では遅延効果の継続期間は 10^4 回程度であることが明らかにされており¹⁾、 $\Delta N = 10^5$ の試験では過大応力の影響が表われていない。いずれの過大応力混入試験においても疲れきれつが進展しなくなるまでの ΔK_1 は、一定振幅応力下での ΔK_{th} よりも大きいと判断される。

変動応力下の履歴効果を考慮するためのきれつ開口レベルの設定は次の2式による。

$$U = (\sigma_{\max} - \sigma_{\text{open}}) / (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \quad U = 0.62 + 0.36R \quad (3)$$

ここに、 U は有効応力比、 R は応力比、 σ_{open} はきれつが開くときの応力である。(3)式を $R = 0$ で一定振幅応力

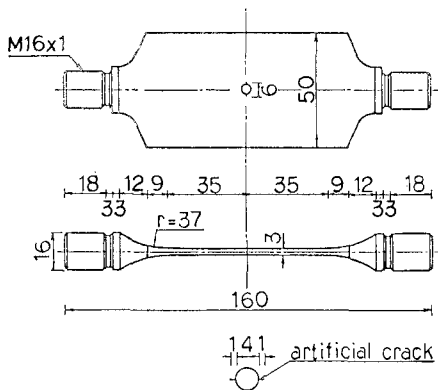


FIG.1 Test Specimen

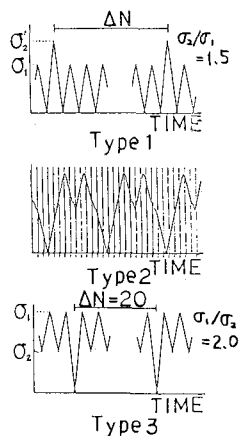


FIG.2 Variable Amplitude Stress Fluctuation

下の $da/dn \sim \Delta K$ 関係(2)式に代入すると次式が得られる。

$$da/dn = 3.17 \times 10^{-9} (\Delta K_{eff})^{2.45} \quad [\Delta K: \text{kg/mm}^{3/2}] \quad (4)$$

ここに ΔK_{eff} は有効応力拡大係数範囲で、 $\Delta K_{eff} = U \cdot \Delta K$ である。次に、変動応力の応力頻度解析はRange-Pair Methodにより行なった。変動応力の1パターンあたりのきれつ進展量が線形的に扱えるとする。等価応力($\Delta \sigma_{eq}$)は次式で与えられる。

$$\Delta \sigma_{eq} = \left(\sum_{i=1}^N \Delta \sigma_i^m / N \right)^{1/m} \quad (5)$$

ここに、 $\Delta \sigma_i$ はR.P.M.により得られた応力振幅、 N は応力振幅の全繰返し数、 m はParis則の指数定数である。

Type1のように過大応力が混入する変動応力下では最大応力によりきれつ開ロレベルが決まる¹⁾。他の変動応力についても最大応力がきれつ開ロレベルを決定すると考え、 σ_{open} 以上の応力がきれつ進展に有効として(5)式を適用した結果がFIG.4である。図中の実線は(4)式である。Type1,2の実験値はほとんど重なっており、有効応力を基に解析すれば履歴効果が除去できると考えられる。しかし、実線とは一致していない。Uには ΔK の小さい領域で K_{max} に対する依存性があることも報告されており、きれつ開ロレベルの設定方法に改良すべき点が残されていると思われる。Type3について、変動応力成分の中で支配的な繰返し応力であると考えられる $\sigma_1 \sim \sigma_2$ の応力振幅の応力比 $R = 0.5$ に基づいて σ_{open} を設定し、有効応力に対して(5)式を適用した結果がFIG.5である。実験値と実線はよく一致している。【参考文献】 1) 西村・坂野・三木：変動応力下の疲れきれつ進展予測、第34回年次講演会 I-45

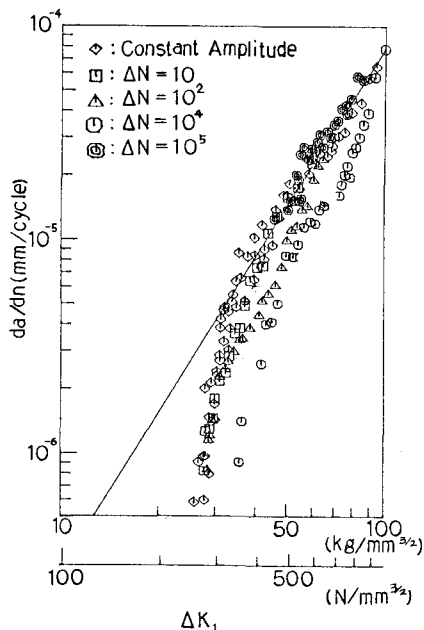


FIG. 3 ΔK vs da/dn for Constant Amplitude and Type 1

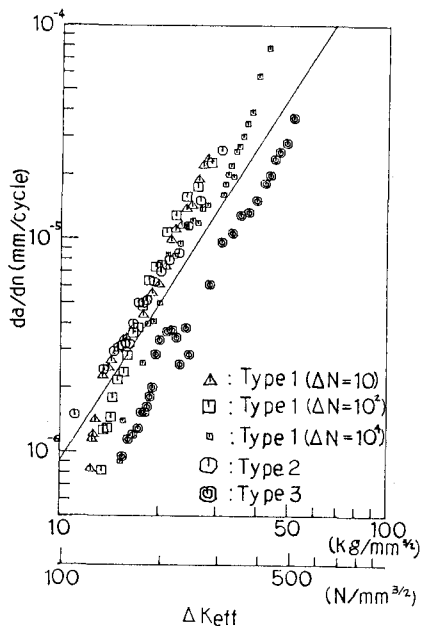


FIG. 4 ΔK_{eff} vs da/dn for Type 1, Type 2 and Type 3

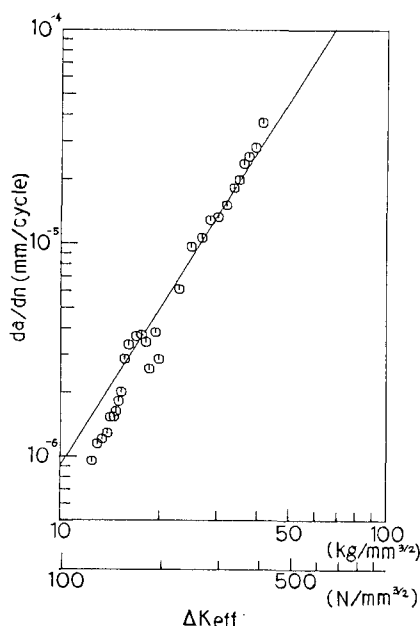


FIG. 5 ΔK_{eff} vs da/dn for Type 3