

204 組合せ軸力 : ねじり荷重下での疲労強度評価法

高橋, 秀夫 / 小浦, 秀夫 / 大川, 功 / 三角, 秀夫

(出版者 / Publisher)

日本材料学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

学術講演会講演論文集 / 学術講演会講演論文集

(巻 / Volume)

47

(開始ページ / Start Page)

47

(終了ページ / End Page)

48

(発行年 / Year)

1998-05

法政大学 正 大川 功
法政大学[院] 学 ○小浦 直樹

法政大学 正 高橋 秀夫
成蹊大学 正 三角 正明

1. 結論

機械や構造部材は単軸応力状態であることはまれで、曲げとねじり、引張圧縮とねじりといった組合せ応力下にあるのが一般的である。さらに、組合せられる荷重間に時間的なずれを伴う場合もあり、実機の疲労破壊は非常に複雑な応力状態において生ずることになる。疲労寿命の大部分は微小き裂の成長に費やされることから実機の疲労破壊を防止するためには、組合せ応力下において応力間位相差をも考慮した疲労き裂の成長挙動に着目し、これに基づいた疲労寿命評価がなされなければならない。

本研究では軸力とねじりが位相差をもって加わる場合につき2つのき裂成長面である最大せん断面と主応力面上に働く応力成分を解析し、これらをパラメータとする寿命評価式について検討した。

2. き裂面上における応力状態

軸力 σ_0 とねじり τ_0 の応力間に位相差 ϕ を有する場合、負荷垂直応力とせん断応力の時間 t による変化は

$$\begin{aligned}\sigma(t) &= \sigma_0 \sin \omega t \\ \tau(t) &= \tau_0 \sin(\omega t - \phi) = \sigma_0 \lambda_0 \sin(\omega t - \phi)\end{aligned}\quad (1)$$

で表される。ここで、 λ_0 は組合せ応力比 τ_0/σ_0 、 ω は角速度である。このとき、軸方向から θ 傾いた法線を持つ面上での垂直応力 σ_n およびせん断応力 τ_{ns} は次のように表される。

$$A_n(t) = \frac{2\sigma_n(t)}{\sigma_0}\quad (2)$$

$$A_n = \sqrt{(1 + \cos 2\theta + 2\lambda_0 \sin 2\theta \cos \phi)^2 + (2\lambda_0 \sin 2\theta \sin \phi)^2}$$

$$\tan \alpha_n = \frac{-2\lambda_0 \sin 2\theta \sin \phi}{1 + \cos 2\theta + 2\lambda_0 \sin 2\theta \cos \phi}$$

$$A_s(t) = \frac{2\tau_{ns}(t)}{\sigma_0}\quad (3)$$

$$A_s = \sqrt{(2\lambda_0 \cos 2\theta \cos \phi - \sin 2\theta)^2 + (2\lambda_0 \cos 2\theta \sin \phi)^2}$$

$$\tan \alpha_s = \frac{-2\lambda_0 \cos 2\theta \sin \phi}{2\lambda_0 \cos 2\theta \cos \phi - \sin 2\theta}$$

式(3)から最大せん断応力振幅 $A_{s\max}$ 、最小せん断応力振幅 $A_{s\min}$ は

$$A_{s\max}^2 = \frac{1}{2} \left\{ 4\lambda_0^2 + 1 + \sqrt{(4\lambda_0^2 + 1)^2 - 16\lambda_0^2 \sin^2 \phi} \right\} \quad (4)$$

$$A_{s\min}^2 = \frac{1}{2} \left\{ 4\lambda_0^2 + 1 - \sqrt{(4\lambda_0^2 + 1)^2 - 16\lambda_0^2 \sin^2 \phi} \right\} \quad (5)$$

と表される。また、最大せん断面上に働く垂直応力振幅 A_n は、式(2)より次式となる。

$$A_n^2 = (A_{s\min}^2 + 1) \pm 2A_{s\min}^2 \sqrt{\frac{A_{s\max}^2 - 1}{A_{s\max}^2 - A_{s\min}^2}} \quad (6)$$

さらに、最大垂直応力振幅 $A_{n\max}$ は、それを生ずる方向を $\theta_{n\max}$ とすると

$$\left(\frac{A_{n\max}}{2}\right)^2 = \frac{4\lambda_0^2 \tan^2 \theta_{n\max} + 4\lambda_0 \cos \phi \tan \theta_{n\max} + 1}{(1 + \tan^2 \theta_{n\max})^2} \quad (7)$$

により与えられる。ここで、

$$\begin{aligned}D &= \alpha^2 \beta^4 - \delta^3 \\ \alpha &\equiv \frac{\cos \phi}{2\lambda_0} \\ \beta &\equiv \frac{\sin \phi}{2\lambda_0} \\ \delta &\equiv \frac{\cos^2 \phi - 2\sin^2 \phi + 4\lambda_0^2}{12\lambda_0^2}\end{aligned}\quad (8)$$

とおくと $\theta_{n\max}$ は $D < 0$ のとき

$$\tan \theta_{n\max} = 2\sqrt{\delta} \cos \frac{\phi}{3} - \alpha \quad (9)$$

$$\cos \phi = \frac{\alpha\beta^2}{\sqrt{\delta^3}}$$

$D \geq 0$ のとき

$$\begin{aligned}\tan \theta_{n\max} &= \left\{ \alpha\beta^2 + \sqrt{\alpha^2 \beta^4 - \delta^3} \right\}^{\frac{1}{3}} \\ &+ \left\{ \alpha\beta^2 - \sqrt{\alpha^2 \beta^4 - \delta^3} \right\}^{\frac{1}{3}} - \alpha\end{aligned}\quad (10)$$

である。

3. 疲労寿命評価法

一般に微小き裂は最大せん断面上で発生し、成長しながら主応力面上へと遷移し、破断に至ることから、それぞれのき裂面上の応力あるいはひずみを用いて伝ば寿命を求めるにはき裂方向の遷移時期を決定する必要がある。しかしき裂遷移時期は組合せ応力状態および応力レベルにより異なり、決定するのは困難でありこれを用いて寿命を評価するのは実用的でない。

本研究では組合せ応力下でのき裂成長速度を支

配するパラメータとして最大せん断面および主応力面上のひずみを考え、式(4)と式(7)および繰返し加工硬化指数 n を用いた。次式の関係を仮定した。

$$\frac{dc}{dN} = H \left\{ (\sigma_{\max} + \tau_{\max})^{\frac{1}{n}} \sqrt{c} \right\}^m \quad (11)$$

2c:貫通き裂長さ

c_0 を初期き裂長さ、 c_{Nf} を破断き裂長さとして式(11)を積分するとき裂の予測伝ば寿命は

$$N_{fpre} = \frac{2}{H(2-m)(\sigma_{\max} + \tau_{\max})^{\frac{1}{n}}} \left(c_{Nf}^{\frac{2-m}{n}} - c_0^{\frac{2-m}{n}} \right) \quad (12)$$

として求められる。ここで、 H と m は材料定数で、たとえば、軸力でのき裂進展データが既知であれば、これを用いて H と m を決定することができる。

式(12)中の σ_{\max} は式(7)~(10)により得られるが、応力比 λ や位相差 ϕ により式の形は異なり、やや複雑である。そこで同位相の場合の主応力 $\sigma_{\max 0}$ との間に近似的に

$$\sigma_{\max} = \zeta \sigma_{\max 0} \quad (13)$$

$$\zeta = 0.5(\cos \phi - 1)e^{-\lambda_0} \lambda_0 + 1 + 0.03(\cos \phi - 1)$$

の関係が成り立つことを用いると、式(12)の寿命評価式は

$$N_{fpre} = \frac{2 \left(c_{Nf}^{\frac{2-m}{n}} - c_0^{\frac{2-m}{n}} \right)}{H(2-m) \left[\frac{\sigma_0}{2} \left\{ \mu \left(\sqrt{4\lambda_0^2 + 1} + 1 \right) + A_{j, \max} \right\} \right]^{\frac{1}{n}}} \quad (14)$$

と表すことができる。

4 実寿命と予測寿命の比較

式(12)あるいは式(14)の寿命評価式の有用性を確認するために既存のデータを用いて実寿命と予測寿命を比較した。供試材は2種類の鋼材 S45C と CH10A である。表1に組合わせ軸力-ねじり疲労試験の試験条件を示す。本供試材の加工硬化指数 n は繰返し応力-ひずみ線図より得た値を使用し、S45C で 0.225, CH10A で 0.205 とした。また軸力のき裂進展データから材料定数 H と m はそれぞれ S45C で $H = 7.8877 \times 10^{-33}$, $m = 2.441$, CH10A で $H = 4.56 \times 10^{-22}$, $m = 1.42$ とした。初期き裂長さ c_0 は粒径の大きさを想定し、S45C は $10 \mu\text{m}$, CH10A では $30 \mu\text{m}$ とした。さらに両材破断き裂長さ c_{Nf} は 1mm とした。これらの値を用いて式(14)より得られた予測寿命と実寿命との比較を図1のに示す。CH10A の $\lambda_0 = 1/\sqrt{3}$, $\phi = 90^\circ$ の場合は安全側の評価となっているが他のプロット点は係数2の破線の

中にほぼ収まっていることから、寿命評価式(14)は実寿命に近い値を与える事が分かる。

Table 1 Test condition

S45C				
Stress ratio λ_0	0	∞	1/2	2
Phase angle ϕ deg.			0, 90	0, 90
CH10A				
Stress ratio λ_0	0	∞	$1/\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$
Phase angle ϕ deg.			0, 45, 90	0, 45, 90

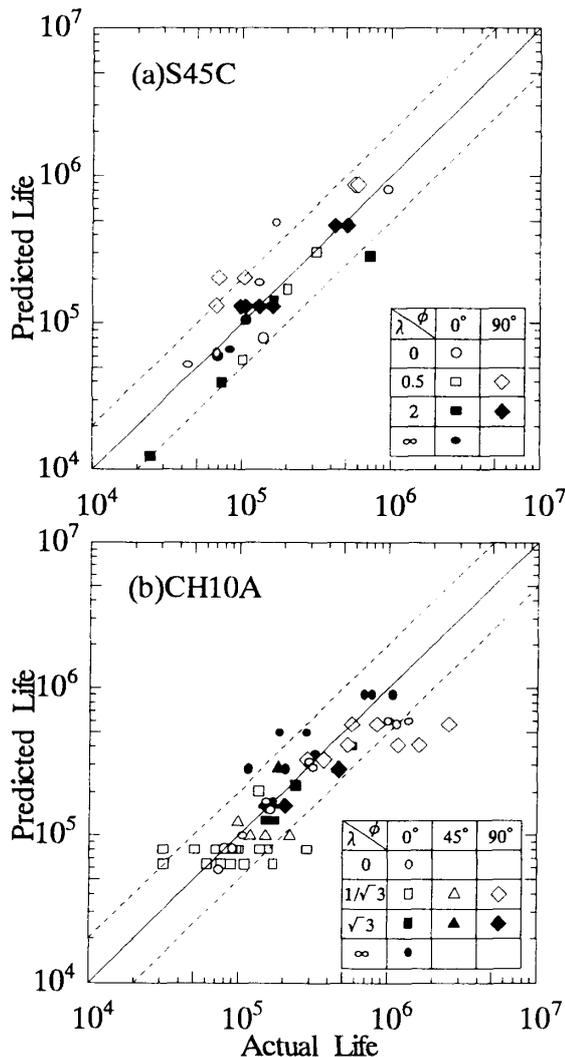


Fig.1 Comparison of predicted and actual lives (a)S45C,(b)CH10A

5.結論

2つのき裂成長面である最大せん断面と主応力面上に作用する応力を解析し、これらに基づく寿命評価式を提案し、実寿命と比較した。特定の試験条件にばらつきが見られるものの、本研究の寿命評価式の有用性が確認された。