法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-12

103 位相差を有する組合せ引張圧縮-ねじり荷重下での寿命評価法の検討

高橋，秀夫 / 三角，正明 / 大川，功 / 上村，宗一郎

(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)
43
(開始ページ / Start Page)
5
(終了ページ / End Page)
6
(発行年 / Year)
1994-05

The Society of Materials Science, Japan

103 位相差を有する組合せ引張圧縮－ねじり荷重下での寿命評価法の検討

法政大学工学部　正　大川　功
法政大学工学部　正　高橋秀夫
法政大学工学部大学院　学　○　上村宗一郎
成蹊大学工学部　正　三角正明

1 緒　論

組合せ疲労においては，荷重間に位相差を有する場合が一般的であり，このような条件下での種々の疲労寿命評価法がこれまでに提案されている[1)-4)]．これらの多くは組合せ同位相の場合のクライテリアを位相差のある場合に拡張したものであり，静的降伏条件説を拡張したもの[4)]を除けば位相差の影響を考慮するための材料定数を含むことから，これを決定するためにより多くの疲労データを必要とする．

そこで本研究では，位相差を有する組合せ引張圧縮－ねじり荷重下での疲労寿命を単軸と純ねじりの疲労強度比のみを用いて評価する方法について検討した．

2 本研究で提案する寿命評価法

2.1 寿命評価パラメータ　Brownら[5)]の最大せん断ひずみとその作用面上での垂直ひずみをパラメータとする同位相の場合の評価法を応力基準に変換し，以下の応力解析をもとに位相差のある場合に適用する．

負荷垂直応力σとせん断応力τの時間的変化は

$$\sigma(t)=\sigma_0\sin\omega t\ ,\ \tau(t)=\tau_0\sin(\omega t-\phi) \qquad (1)$$

により与えられる．ここでσ_0,τ_0は垂直およびせん断応力振幅，ωtは位相角，ϕは位相差である．このとき組合せ応力比を$\lambda_0=\tau_0/\sigma_0$とし最大，最小せん断応力振幅$\tau_{max}$,$\tau_{min}$をそれぞれ垂直応力振幅$\sigma_0$により無次元化して示すと

$$2(A_{Smax,min})^2=2(2\tau_{max,min}/\sigma_0)^2$$
$$=(4\lambda_0^2+1)\pm\{(4\lambda_0^2-1)^2+16\lambda_0^2\cos^2\phi\}^{1/2} \qquad (2)$$

となる．また，２つの最大せん断面上での垂直応力振幅σ_{n1}, σ_{n2}($\sigma_{n1}>\sigma_{n2}$)を無次元化すると

$$2(A_{n1,n2})^2=2(2\sigma_{n1,n2}/\sigma_0)^2$$
$$=(4\lambda_0^2+3)-\{(4\lambda_0^2-1)^2+16\lambda_0^2\cos^2\phi\}^{1/2}$$
$$\pm 2\sqrt{2[(4\lambda_0^2\cos^2\phi+1)+\{(4\lambda_0^2-1)-4\lambda_0^2(4\lambda_0^2+3)\cos^2\phi\}/\{(4\lambda_0^2-1)^2+16\lambda_0^2\cos^2\phi\}^{1/2}]^{1/2}} \qquad (3)$$

が得られる．よってこれらと同位相の場合の無次元化した最大せん断応力振幅A_{Smax0}とこの面上での垂直応力振幅 A_{n0}の間には次式に示す関係がある．ここで F は金澤ら[6)]により定義されたパラメータである．

$$\left.\begin{aligned}&A_{Smax0}^2=A_{Smax}^2(1+F^2)\\&A_{n0}^2=(1+H^2)A_{n1}^2/2-F^2A_{Smax}^2\\&F=\tau_{min}/\tau_{max}=A_{Smin}/A_{Smax}\\&H=\sigma_{n2}/\sigma_{n1}=A_{n2}/A_{n1}\end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

2.2 等寿命線の導出　Brownら[5)]が示した延性材の同位相の場合の等寿命線を組合せ引張圧縮－ねじりに適用すると次式を得る．

$$\tau_{max}^2+(4\psi^2-1)\sigma_n^2=\tau_t^2 \qquad (5)$$

ここでτ_t, σ_{pp}はそれぞれ純ねじりと単軸の疲労強度で，$\psi=\tau_t/\sigma_{pp}$はこれらの疲労強度比である．

式(4)により式(5)を位相差のある場合に拡張すると

$$\{1-2F^2(2\psi^2-1)\}\tau_{max}^2+(1+H^2)(4\psi^2-1)\sigma_n^2/2=\tau_t^2 \qquad (6)$$

なる等寿命線が得られる．ここで式中のσ_nは大きい方の垂直応力振幅をとるものとする．あるいはさらに

表１　供試材の化学成分，熱処理および機械的性質

Chemical composition (%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
	0.450	0.180	0.670	0.027	0.012	0.060	0.050	0.120

Heat treatment	850°C 1hr Furnace cooling in vacuum		
Mechanical properties	Yield stress in tension	MPa	371
	Tensile strength	MPa	591
	Elongation	%	31
	Contraction of area	%	50
	Yield stress in torsion	MPa	243
	Torsional strength	MPa	663
	Micro-Vickers Hardness	Hv	184

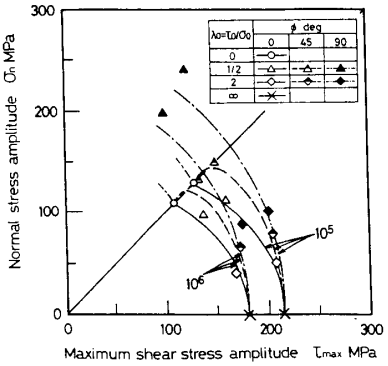
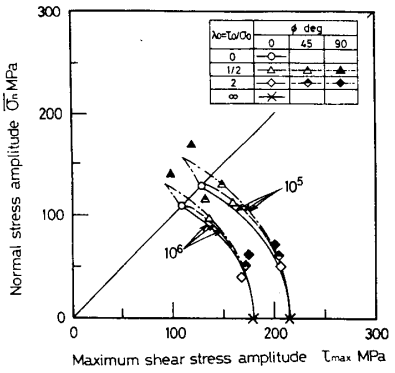


図１　式(6)による等寿命線



NII-Electronic Library Service

The Society of Materials Science, Japan

簡略化するためにσ_nの代わりに

$$\overline{\sigma_n}=\{(\sigma_{n1}^2+\sigma_{n2}^2)/2\}^{1/2} \quad (7)$$

をパラメータとすれば次式の等寿命線が得られる．

$$\{1-2F^2(2\phi^2-1)\}\tau_{max}^2+(4\phi^2-1)\overline{\sigma_n}^2=\tau_t^2 \quad (8)$$

式(6),(8)より等価せん断応力$\tau_{eq}=\tau_t$あるいは等価応力$\sigma_{eq}=\tau_t/\phi$を求められるが，これらは単軸と純ねじりの疲労強度比のみを用いて決定される．

3　提案した評価法の疲労試験結果への適用

3.1 疲労試験　　供試材はS45Cで中実丸棒材を試験部の長さ30㎜，直径13㎜に切削加工後熱処理を施した．化学成分，熱処理および機械的性質を表１に示す．

疲労試験には電気油圧サーボ式複合応力試験機（鷺宮製作所製）を用い，室温で繰返し速度5Hzの荷重制御両振試験を行った．試験条件は単軸と純ねじりおよび組合せ(λ_0=1/2,2) とし，組合せの場合，位相差ϕ=0° 45° ,90° とした．

3.2 疲労寿命データの整理　　図１，２に式(6),(8)によるτ_{max}-σ_n，τ_{max}-$\overline{\sigma_n}$の線図上での10^5，10^6回の等寿命線を示す．いずれもϕ=90° の場合を除けば，実験点と等寿命線の傾向はほぼ一致している．

図３，４は式(6),(8)の等寿命線に基づく等価応力により寿命を整理したものでϕ=90° の場合がやや安全側に評価されるが，全般に式(6),(8)により寿命の予測が可能であることがわかる．

4　これまでの評価法による結果との対比

比較のため著者らが以前提案した評価法[3]による整理結果を図５，６に示す．これはAndrewsら[2]と同様にτ_{max}-σ_n線図上で同位相と位相差がある場合の等寿命線を直線とするもので，位相差のある場合をいったん同位相の場合に等価した後，単軸に等価するという手法である．今回提案した評価法と比較すると寿命推定精度は高いが，この評価法では直線の傾きは実験により決定される材料定数であり，これは応力比によって大きく異なるため，任意の応力比，位相差での寿命評価を行うには多くの疲労データを必要とする．これに対し，今回提案した評価法では多少寿命推定精度は劣るが，単軸と純ねじりの疲労強度比のみが知れれば寿命評価を行うことが可能である．

5　結　　論

位相差を有する組合せ引張圧縮－ねじりの疲労寿命を単軸と純ねじりの疲労強度比のみを用いて評価する方法を提案した．S45Cの組合せ疲労データにこの評価法を適用したところ，良好な結果が得られた．

参　考　文　献

1)S.B.Lee,ASTM STP 853,553(1985). 2)R.M.Andrews et al.,Biaxial and Multiaxial Fatigue,p.641(1989). 3)大川功 他,材料,40,1459,(1991). 4)平修二 他,日本機械学会論文集,34,255(1968). 5)M.W.Brown et al., ASTM STP 770,482(1982). 6)K.Kanazawa et al.,Trans. ASME,J.Engng.Mater.Technol,99,222(1977).

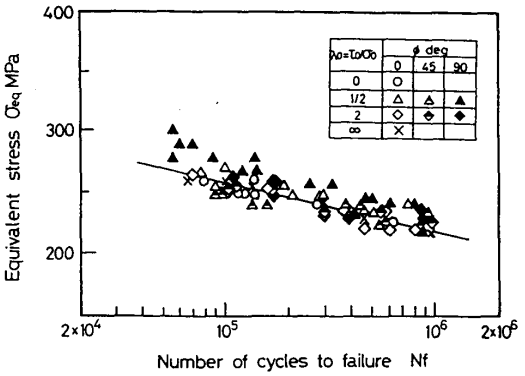


図３　式(6)に基づく試験結果の整理

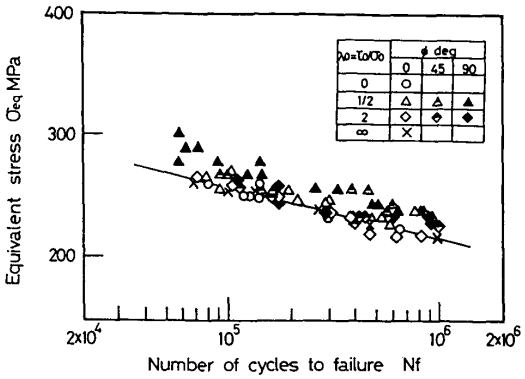


図４　式(8)に基づく試験結果の整理

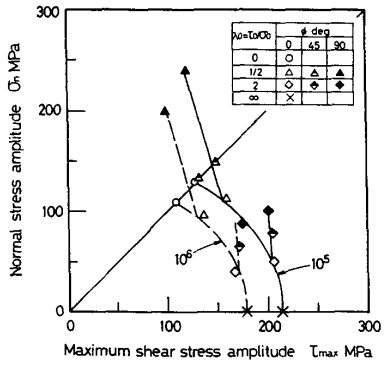


図５　材料定数を含む評価法による等寿命線

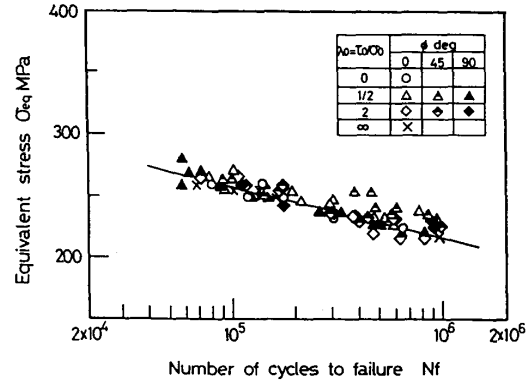


図６　材料定数を含む評価法に基づく試験結果の整理

NII-Electronic Library Service