

1-7 重畳波形下の疲労強度

川崎重工業KK. 技術研究所

堀 川 武

中 村 宏

1. はしがき

強度部材に関する疲労寿命の推定法の確立に対する要求は近年特に重要となっている。著者らもばねの重畳波形下の疲労強度にはじまって、最近ではピストンクラウンの疲労寿命推定に至るまで、各種重畳波形下の疲労挙動に関して実験研究を進めてきた。一方重畳波形下の疲労強度の研究は、不規則波形に対する特殊な場合としてとらえることも可能である。即ち重畳波形の一次波振幅に対して二次波振幅が大きい場合はすべてのピークが零レベルをよぎり、逆の場合は、一部が零レベルをよぎりいわゆる重畳した部分が存在する波形となる。本報では、上記考え方に立って疲労寿命について考えてみる。

2. 寿命推定法

図1に応力波形とその読みとり法を示す。図のような波形に対してピーク1~7において(1-2), (2-3)----(6-7)に対して平均応力と振幅応力(σ_{m1} , σ_{a1})----(σ_{m6} , σ_{a6})を $\frac{1}{2}$ cycleずつ読みとる。次に重畳波の部分に対して7と12に対して(σ_{m71} , σ_{a71})を $\frac{1}{2}$ cycle読みとり、次に(8-9), (10-11)に対しては、(σ_{m72} , σ_{a72}), (σ_{m73} , σ_{a73})の1 cycleを読みとる。次に12と17に対して(σ_{m81} , σ_{a81})の $\frac{1}{2}$ cycleを読みとり、(13-14), (15-16)に対して(σ_{m82} , σ_{a82}), (σ_{m83} , σ_{a83})の1 cycleを読みとる。以下順次同様に

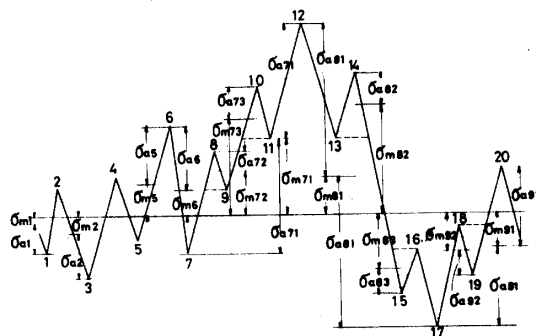


図1. 応力波形とその読みとり法

応力波形を読みとる。即ち零レベルを区切る部分で最大ピークの平均応力と振幅応力を、重畳波の部分ではこれに加えて重畳振幅の平均応力と振幅応力を読みとる方法である。このようにして平均応力を考慮した(σ_{mi} , σ_{ai}), (σ_{mj1} , σ_{aj1})の応力頻度が読みとられる。

次に平均応力の効果を次式で評価する。 $\sigma'_{ai} = \sigma_{ai} / (1 - \sigma_{mi} / \sigma_B)$, $\sigma'_{ajl} = \sigma_{ajl} / (1 - \sigma_{mj1} / \sigma_B)$ ——(1) ここで $\sigma_B = k \sigma_B$ 。一般に材料は繰返し速度に依存した疲労強度を持つのでそれぞれの速度でのS-N線図の式を $N \sigma'^{\alpha_i} = K_i$, $N \sigma'^{\alpha_{jl}} = K_{jl}$ ——(2)とする。なおここでは説明の都合上図1での各読みとり値の周波数はすべて異なるとした。

各応力での疲労損傷は次式となる。 $D_i = (\sigma'_{ai})^{\alpha_i} / 2 K_i$, $D_{j1} = (\sigma'_{aj1})^{\alpha_{j1}} / 2 K_{j1}$, $D_{jl} = (\sigma'_{ajl})^{\alpha_{jl}} / K_{jl}$; ($l=2$ 以上) (3)。たとえば応力頻度を読みとった区間の疲労損傷をDで表すと、 $D = \sum_i D_i + \sum_j D_{j1} + \sum_{j, l=2} D_{jl}$ ——(4)。(4)式は累積繰返し数比を求めたことになる。ここで累積繰返し数比が1になった時が疲労寿命であると考え、推定寿命Lは次式となる。 $L = 1/D$ 。[区間]——(5)。上記考え方は平均応力の効果を(1)式で評価し、S-N線図の式としては疲労限以下まで直線で延長して考え、累積繰返し数比が1となった時を疲労寿命であると考え(即ち修正マイナー則になる)。

3. 適用例(二重々畳波)

本推定法の一例として二重々畳波に適用した結果について述べる。図2は正弦波に正弦波が重畳した二重々畳波、図3は片振り矩形波に正弦波が重畳した二重々畳波である。図2の重畳波において、 σ_{a1} は平均応力が零であるから $D_i = \sigma_{a1}^{\alpha_1} / K_1$

二次波の部分に対しては $\sigma_{a1j}' = \sigma_{a1j} / (1 - \sigma_{m1j} / \sigma_B)$, $D_{1j} = (\sigma_{a1j}')^{\alpha_2} / 2 K_2$, これより推定寿命 $\bar{N}$ は、 $\bar{N}(D_i + \sum D_{1j}) = 1$ — (6)より求まる。

ここで一次波、二次波の $S-N$ 線図の式を、 $N\sigma^{\alpha_1} = K_1$, $N\sigma^{\alpha_2} = K_2$ としている。計算結果を図4, 5に示す。 $\bar{N} = 2 \times 10^4$ の場合について計算した結果である。破線は $k=0.5$, 実線は $k=1.0$ とした場合であり、 $k=0.5$ とすると実験結果と良く一致する。なおこの材料は $\sigma_B = 68 \text{ kg/mm}^2$ であり、図中の n は重畳山数である。二点鎖線は一次波の $S-N$ 線図の式として二次波のそれを用いた場合であり、 σ_{10} が右側へずれる。即ち速度効果を考慮しない場合の計算結果である。この材料の場合は大差ない結果となった。図5は同一材料での $\bar{N} = 2 \times 10^4, 10^4, 3 \times 10^3$ の結果を示す。破線は図4の破線と同一である。破線以外は $k=0.66$ ($\sigma_B = 45 \text{ kg/mm}^2$)とした結果であり、若干実験点からはずれる。 $k=0.6$ 程度が良い推定を与えるであろう。

4. あとがき

波形効果、速度効果を取り入れた寿命推定法について述べた。重畳波について適用した結果ではかなり良い推定を与える。 k のとり方について経験的な要素が入るが、現時点では0.6前後の値が良い推定値を与えるようである。速度効果のとり入れ方については、それぞれの繰返し速度についての $S-N$ 線図の式があればそれを用いれば良いが、ない場合は実験の可能な範囲で実験を行ない、この結果から推定せざるを得ない(当日説明する予定)。高温になるにつれて速度効果が大きく現れると考えられる。図3に示した重畳波についての結果は当日説明する予定であるが、この種の平均応力が引張側のみで変動する波形では高温になるにつれてクリープとの相互作用の効果が大きくなるであろう。

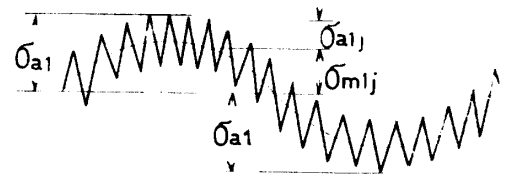


図2 二重々畳波 (Sin + Sin)

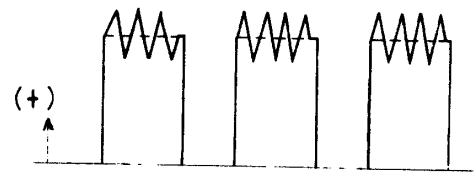


図3 二重々畳波 (Rect + Sin)

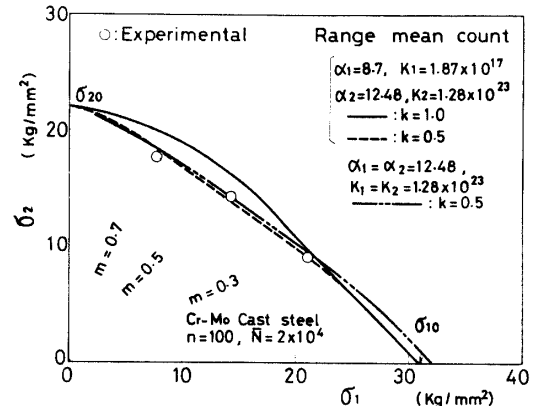


図4. 実験結果と計算結果の比較

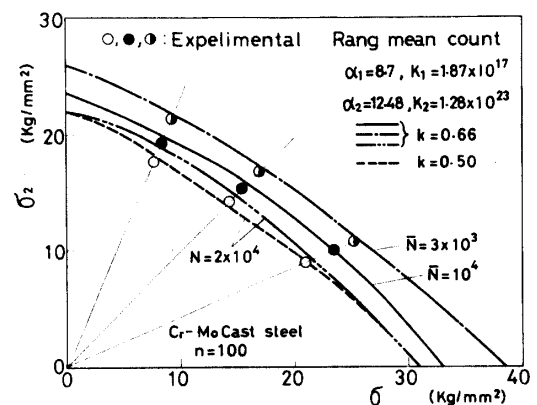


図5. 実験結果と計算結果の比較