

京都大学 工学部
京都大学 大学院

山田敏郎
鹿野 裕 ○和述健二

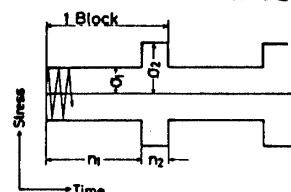
1. 緒言

本研究はS_i-キルド鋼(0.12%C, CH10K)に対し、過小応力を含む二段多重プログラム荷重に対する実験なるびに寿命予測を行なうと同時に、過小応力の値の変化に伴う寿命変化について評価したものである。ときにAL-キルド鋼(0.09%C, CH10A)の平滑試験片に対し同様の目的で回転曲げ疲労試験を行なったが¹⁾、今回も比較のため前回と同じ試験片形状と、応力パターンを採用した。

2. 実験

試験片は表1のような熱処理を行なった。試験機の回転速度は、2890rpmである。まず一定応力振幅試験を行なった。その結果を図2 表1 熱処理に示す。これより耐久限度を決定したのち、二段多重プログラム荷重

Condition of heat treatment	
920°C X 1hr.	→ Room temp.
(Air cooling)	



Number of cycles		
n ₁	n ₂	n ₂ /n ₁
337000	8430	1/40

図1. 二段多重プログラム
応力パターン

疲労試験を行なった。応力パターンは図1に示すとおりで、前回と同一である。なおσ₁は過小応力、σ₂は過大応力であり、n₁, n₂は1ブロック(変動1周期)中のσ₁, σ₂の繰返し数である。採用した応力値は、σ₂が前回主として採用した1.2σ_w=21.5(kg/mm²)の一定値。σ₁は18.0, 17.5, 17.0, 16.5, 16.0, 15.5, 14.5, 11.5, 9.5, 8.5, 8.0, 7.5, 6.5, 5.5, 3.5, 1.0, 0.5(kg/mm²)である。

3. 考察

寿命の推定は前回同様次の山田の式によった。すなわち一定繰返し応力に対しては、 $N = (-1/m\sigma^p) \ln\{1 - m\sigma^p / \exp(A\sigma + D)\}$... (1) 変動

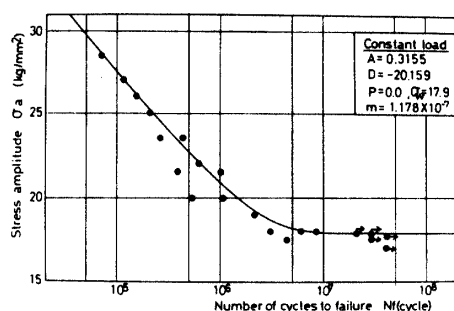


図2. 一定応力振幅試験結果

(回転曲げ) S_i-キルド鋼, CH10K では前回3.7と2.0を採用したが、今回は3.0と2.0とした。また過大応力の作用によ、て生ずる低下した耐久限度を表わすσ_wは、材料を変えた事によ、て変化するものと考え、改めて決定し直したが、AL-キルド鋼の場合より若干低くなった。

また過小応力の寿命に及ぼす影響を、図5、図6、図7で示す。図の横軸は過小応力σ₁の値。縦軸は破断までに過大応力σ₂によ、て加えられた累積疲労被害より、マイナー

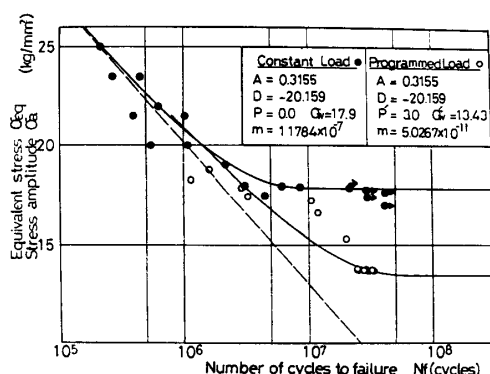


図3.二段多重プログラム試験結果

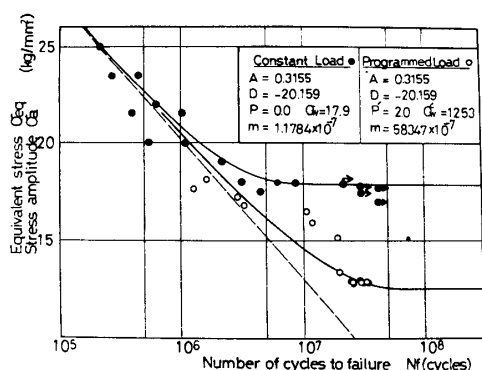


図4.二段多重プログラム試験結果

まず修正マイナー則では相当安全側に見積られている事が明らかになった。それに対し山田の式では、過小応力の存在によつてむしろ寿命が延びている部分を含め、よい一敷を示している。今回は過小応力がある領域で $N_f = \infty$ となる部分が生じたが、今回は寿命の延びる傾向のみであった。これは材料の違いによると考えられ、式の上では σ_w'/σ_w の低下として表現できる。また過小応力の低い領域で寿命が短くなる現象が前回は認められたが、今回は特に現われなかった。

4. 亀裂進展速度

前回、破断面に現われた各応力段に対応するビーグマークより亀裂進展速度を求め、提案した式¹⁾との対応を調べたが、今回も若干のデータが得られたので検討を行った。

前回提案した式は次元解析により応力拡大係数を求めたもので、まず応力 σ がモーメント M と断面係数 Z から $\sigma = M/Z$ と表わされ、 Z が長さ l の3乗のオーダーであることから $\sigma = AM/(l^3 - l^2)$ とおく。ここで A は定数、 l_0 は試験片直径、 l

則において破断が起こると評価される1を引いた値で、式で表わすと $f(\sigma_i) = (\sum (n_2/N_2)) \sigma_i - 1 \dots (4)$ ただし N_2 は σ_2 による一定応力振幅時の破断繰返し数で $N_2 = 6.442 \times 10^5$ 。これを変形すると、 $f(\sigma_i) = N_f \times n_2 / \{(n_1 + n_2) \cdot N_2\} - 1 \dots (5)$ となり、 N_f の実験値ないし推定値を代入する事によって、実際に過小応力が寿命にどう影響しているか、もしくは推定式が影響をどう評価しているかを表わす事ができる。

図5にはマイナー則、修正マイナー則による評価結果を、図6、図7には山田の式による評価結果を示す。ただし図6では $p=3.0$ 、図7では $p=2.0$ であり、 σ_w'/σ_w は推定に使った0.7, 0.75以外の値による結果も参考

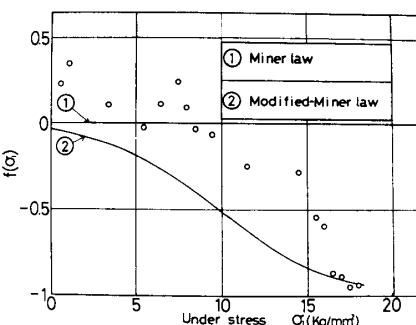


図5.マイナー則、修正マイナー則による過小応力の影響

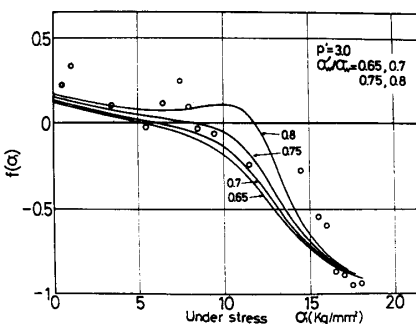


図6.山田の式による過小応力の影響

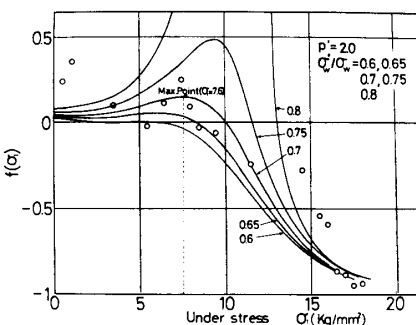


図7.山田の式による過小応力の影響

は亀裂深さ。これを応力拡大係数 K のモード I の形、 $K = \sigma f(l) \sqrt{l}$ に代入して $K = A f(l) M \sqrt{l(l_0 - l)^{-3}} l^{\frac{1}{2}}$ 、さらに $\Delta K = A f(l) \Delta M \sqrt{l(l_0 - l)^{-3}} l^{\frac{1}{2}}$ を得る。ただし $\Delta M = M_{\max} - M_{\min}$ 。この ΔK をよく知ると $dl/dN = C' (\Delta K)^6$ に代入して $da/dN = C \times (1 - l/l_0)^{-3m} (l/l_0)^{m/2}$... (6) を導いたものである。なお $C = C' A^6 (\Delta M)^6 \sqrt{l}^6 l_0^{-5m/2} f(l)^6$ であり、一定と仮定した。

また Arthur. J. Bush は²⁾ 図10に示すような荷重のかかる切欠き付きの丸棒の K_I 値を、エネルギー解放率とコンプライアンスの関係およびエネルギー解放率と K_I 値との関係を用いて次のように誘導した。 $K_I = \{ [E/(1-\mu)] \times (2/BD) (M/l)^2 dc/d(a/b) \}^{0.5}$... (7) E : 縦弾性係数, μ : ポアソン比, B : 亀裂先端の幅, D : 丸棒直径, M : 曲げモーメント, l : スパン半長, C : コンプライアンス。この C は論文で $C = b_0 + b_1 (a/b)^n$, b_0, b_1, n は定数の形で表わされており $B = 2(Da - a^2)^{0.5}$ の幾何学的関係とともに (7) 式に代入すると、 $K_I = \{ [E/(1-\mu)] (M/Dl)^2 b_1 n \}^{0.5} (a/D)^{\frac{1}{2}(n-3/2)} (1-a/D)^{-1/4}$... (8) これを $da/dN = C' (K_I)^6$ に代入し、定数部分を C でおきかえると、 $da/dN = C (a/D)^{\frac{3}{2}(n-3/2)} (1-a/D)^{-3/4}$... (9) を得る。ここで n は 1.5 以上の値をとるとされているので $n = 1.5/2$ とおき、さらに n を 1.5 でおきかえると、 $da/dN = C (1-a/D) \times (a/D)^{1/2}$... (10) これは前述の (6) 式と同じものであり、(6) 式の妥当性を示すものと思われる。

(6) 式中 C, m は定数であり、 m は応力パターンによる一定の材料定数、 C は各試験に対応する値をとるので、今回の試験結果より決定した。図8, 図9にこの結果を示す。測定がより正確にできる l の長い部分で、特によい一致が得られている。また (6) 式を変形して数値積分することにより、亀裂進展期間が求められるが、試験片番号 2-51 について実行したものを以下に示す。初期亀裂を測定できた最小のビークの深さを 244μ とすると、亀裂進展期間のブランク数 $Z_p = 7$ 。これは測定値と一致する。また亀裂進展期間の繰返し数 $N_p = 2.418 \times 10^6$ で $N_p/N_f = 0.13$ となる。なお初期亀裂を 50μ と仮定すると $Z_p = 11$, $N_p = 3.800 \times 10^6$, $N_p/N_f = 0.20$ 。100 μ の場合は、 $Z_p = 10$, $N_p = 3.454 \times 10^6$, $N_p/N_f = 0.18$ である。以上の結果より (6) 式が妥当であると考えられる。

参考文献

- 1) 山田敏郎, 材料, 29, 316 (1980)
- 2) Arthur. J. Bush, Experimental Mechanics, 249. (1978)

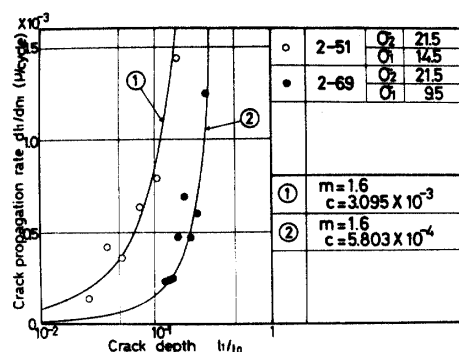


図8 亀裂深さと亀裂進展速度との関係 (過小応力相当)

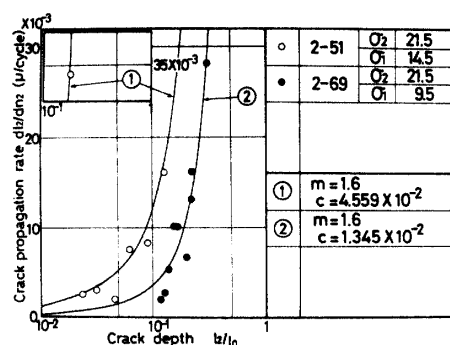


図9 亀裂深さと亀裂進展速度との関係 (過大応力相当)

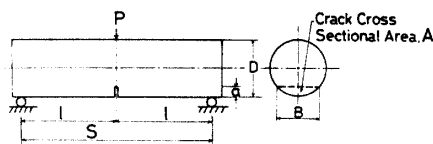


図10 Arthur. J. Bush の試験片