

ねじりおよび平面曲げ二段二重重複繰返しを 受ける炭素鋼の疲れ挙動について*

追 分 重 義

道 端 久 紀

宇 野 和 雄

(昭和50年9月29日受理)

Fatigue Behavior of Carbon Steel Subjected to Two-Stage Double-Repeated Stress under Torsion and Plane Bending

by Shigeyoshi OIWAKE, Hisanori DOBA
and Kazuo UNO

The result obtained by this test on S 35 C steel, annealed, is summarized as follows: (Regardless of the kind of the cycled stress, both torsional and bending stress which had the same life in the respective constant stress fatigue test, are called of the same magnitude for the present).

1) When the 2ary stress was smaller than the 1ary, the accumulated cycle ratio $\Sigma n/N < 1$ at the life; and when larger, $\Sigma n/N > 1$. For the 2ary stresses of the same magnitude, $\Sigma n/N$ became larger when the 1ary stress was of another kind than the 2ary.

2) During the 2ary cycle, the hardness of the tested material increased when the 2ary and 1ary stresses were of the same magnitude, and decreased when the 2ary one was either larger or smaller than the 1ary one.

3) After about the cycle when $\Sigma n/N = 0.5$, the plastic strain width $\Delta \varepsilon_p$ value was higher for the higher stress amplitude. Before this cycle, there was no such relation.

4) It is considered that the maximum shearing stress induced during the cyclic test exerts governing influence over $\Sigma n/N$ value at the life, hardness and $\Delta \varepsilon_p$.

1. 緒 言

炭素鋼の二段二重重複繰返し試験は従来より数多く試みられているが、大部分は引張圧縮¹⁾と回転曲げ²⁾を取扱っており、ねじり³⁾や平面曲げを取扱ったものはきわめて少い。本研究はねじり応力と平面曲げ応力とを1次および2次応力として組合わした試験を行なって、疲れ寿命における累積繰返し数比⁴⁾を調べ、また疲れに伴う硬さの変化や、ヒステリシスループに表われる塑性ひずみ幅の変化を求め、応力繰返しとの相関を検討した。

* 精機学会昭和50年度北海道支部学術講演会(昭50.10)にて講演予定

らに平行部に貼ったゲージの出力とを動ひずみ計を介してシンクロスコープのそれぞれ縦軸および横軸に入れ、ヒステリシスループを描かせた写真より求めた。ねじりによる供試材のひずみを測定するためのクロスゲージは平行部の頂部に貼り、曲げのための単軸ゲージは2ゲージ法として頂部と底部に貼った。

3. 実験と実験結果

1) 1次および2次応力の設定 はじめにねじりおよび平面曲げ定応力繰返し試験をそれぞれ行なって SN 曲線を求めたのが図2である。これから耐久限度はねじりに対して $\tau_w = 14.5 \text{ kg/mm}^2$ 、曲げに対して $\sigma_w = 20.5 \text{ kg/mm}^2$ とした。SN 両曲線とも傾斜部直線で近似させていて、傾斜部の中ほどに疲れ寿命が同じ3個ずつの応力を下記のように対応させて選んだ。

疲 れ 寿 命 (cycles)	ね じ り 応 力 τ (kg/mm ²)	曲 げ 応 力 σ (kg/mm ²)
7×10^5	17.5	27.5
3×10^5	18.5	30.5
1.1×10^5	19.5	33.5

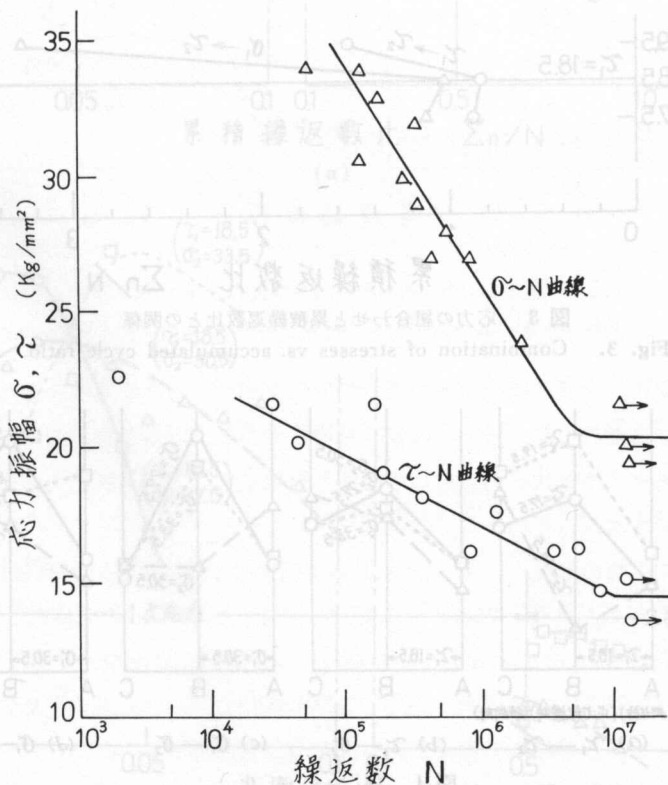


図2 S-N 曲線

Fig. 2. S-N curves.

1 次応力はねじりでも曲げでも中間の応力とし，2 次応力は同種または異種の 3 個の応力を組合わした。すなわちその組合わせは下記のとおりである。応力の単位は kg/mm^2 である。

- ① $\tau_1 = 18.5, \tau_2 = 17.5, 18.5, 19.5$
- ② $\tau_1 = 18.5, \sigma_2 = 27.5, 30.5, 33.5$
- ③ $\sigma_1 = 30.5, \sigma_2 = 27.5, 30.5, 33.5$
- ④ $\sigma_1 = 30.5, \tau_2 = 17.5, 18.5, 19.5$

なお 1 次応力の繰返数比は $n_1/N_1=50\%$ に押え，2 次応力は破断まで繰返した。

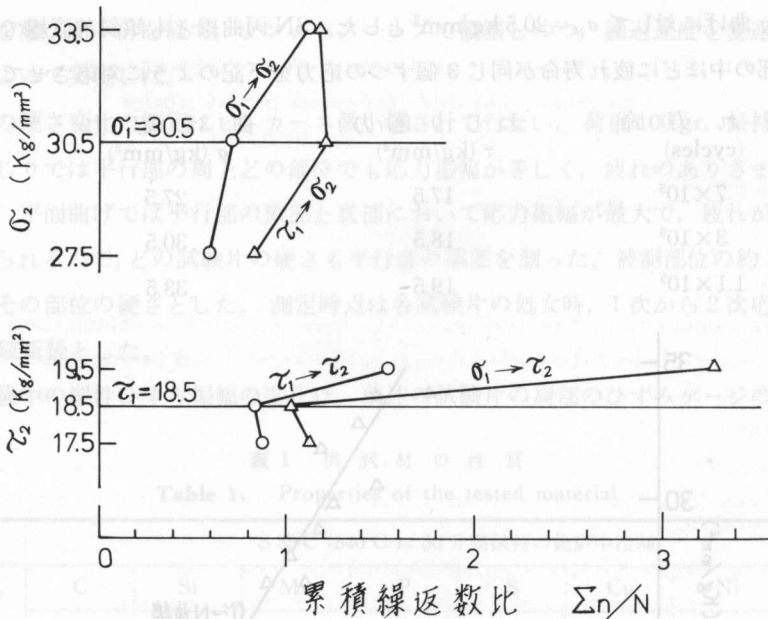


図 3 応力の組合わせと累積繰返数比との関係

Fig. 3. Combination of stresses vs. accumulated cycle ratio.

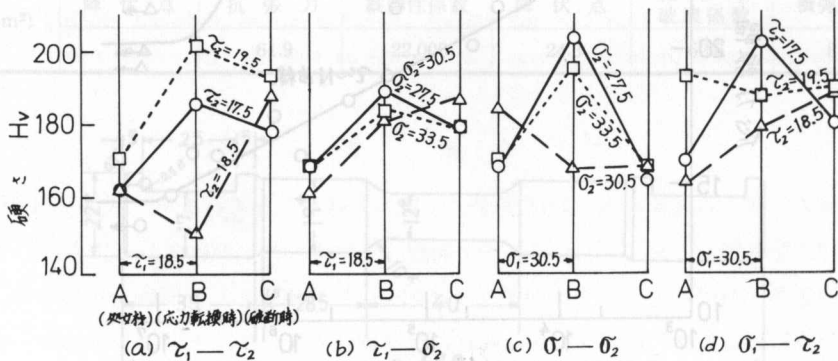
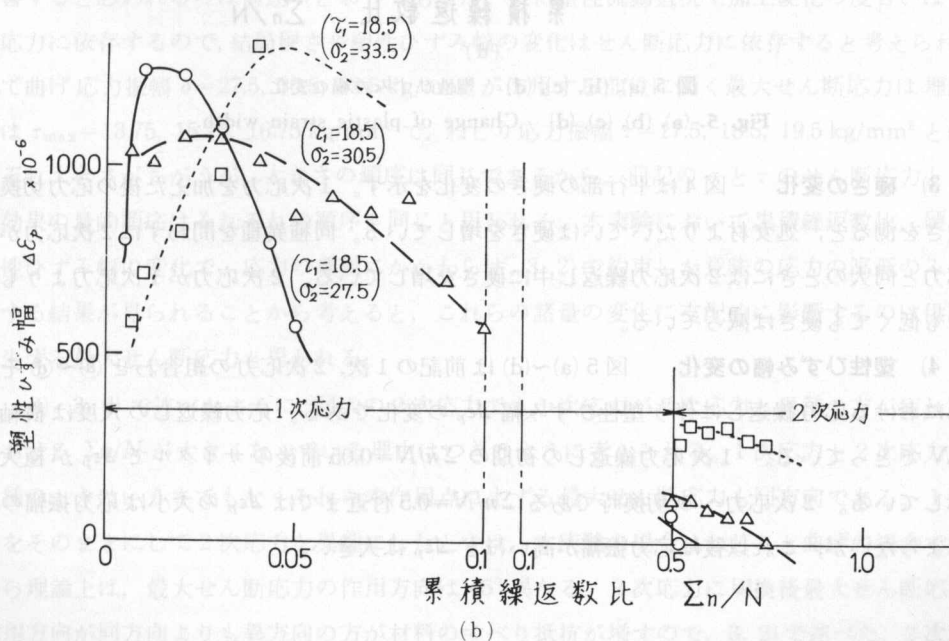
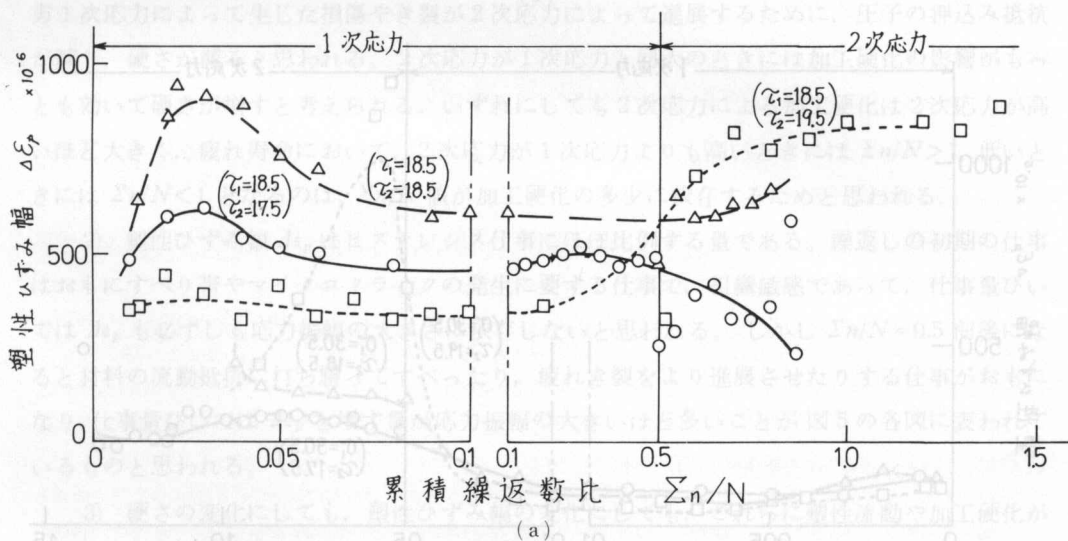


図 4 硬さの変化

Fig. 4. Change of hardness.

2) 疲れ寿命における累積繰返数比 いま応力の種類にかかわらず、 $\tau=18.5 \text{ kg/mm}^2$ 、 $\sigma=30.5 \text{ kg/mm}^2$ を中応力、これより寿命が長くなる応力を低応力、短くなる応力を高応力と呼ぶことにする。図3は1次と2次応力の組合わせによって疲れ寿命における累積繰返数比が異なる結果が得られたのを図示したものである。1次応力の種類にかかわらず同種類の2次応力の場合を比較すると、2次応力が高いほど $\Sigma n/N$ は増す。おおまかにいえば、2次応力が中応力以下のときは $\Sigma n/N < 1$ 、高応力のときは $\Sigma n/N > 1$ である。同大の2次応力でも1次応力が2次応力と異種の方が疲れ寿命における $\Sigma n/N$ が大きくなっている。



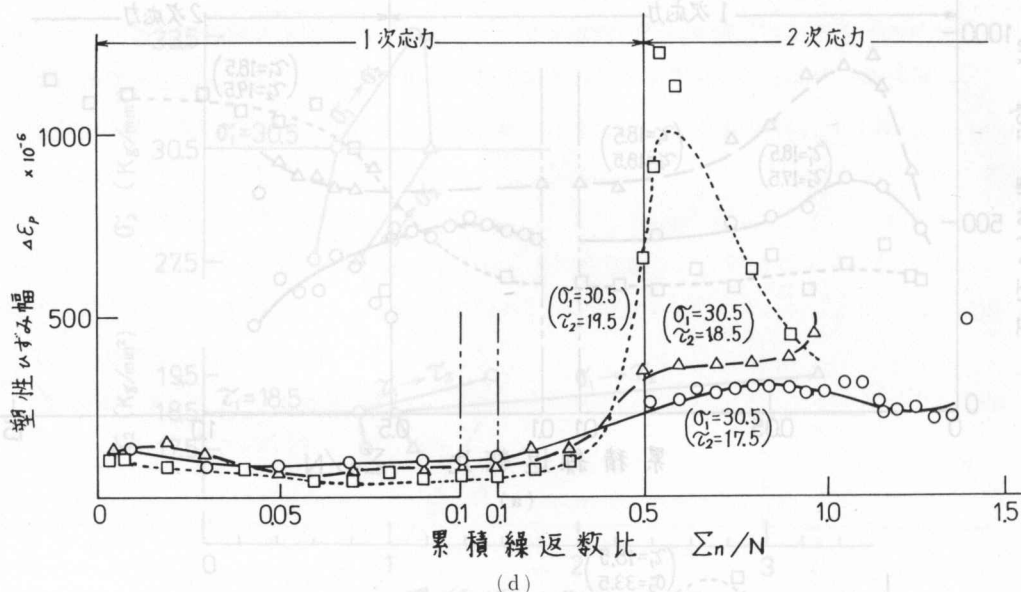
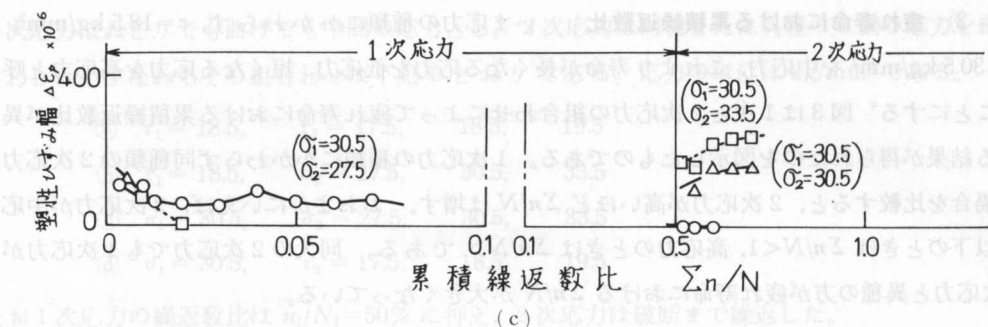


図 5 (a), (b), (c), (d) 塑性ひずみの幅の変化

Fig. 5. (a), (b), (c), (d) Change of plastic strain width.

3) 硬さの変化 図4は平行部の硬さの変化を示す。1次応力を加えた後の応力切替時に硬さを測ると、処女材よりたいていは硬さを増している。同種異種を問わずに2次応力が1次応力と同大のときには2次応力繰返し中に硬さを増している。2次応力が1次応力よりも高くても低くても硬さは減っている。

4) 塑性ひずみ幅の変化 図5(a)~(d)は前記の1次、2次応力の組合わせ(a)~(d)それぞれにおける応力繰返しに伴う塑性ひずみ幅 $\Delta \epsilon_p$ の変化である。応力繰返しの尺度は横軸に $\Sigma n/N$ としている。1次応力繰返しの初期の $\Sigma n/N=0.05$ 前後のサイクルで $\Delta \epsilon_p$ が極大値を示している。2次応力への切替時である $\Sigma n/N=0.5$ 付近までは $\Delta \epsilon_p$ の大小は応力振幅の高低によらないが、これ以後は応力振幅が高いほど $\Delta \epsilon_p$ は大きい。

4. 考 察

1) 1次応力によってたいてい硬さが増しているのは加工硬化によると思われる。1次応力を繰返した後に、これよりも高い2次応力を掛けるときには、応力が高いために材料の加工硬化の度合いも大きい。反面疲れ損傷が著しくなることによる、硬さ計の圧子の押込み抵抗の減少が著しくなり、後者の影響がより著しく効いて、材料全体としては硬さが減少したものと思われる。2次応力が1次応力よりも低いときには、応力が低いために加工硬化が少く、一方1次応力によって生じた損傷やき裂が2次応力によって進展するために、圧子の押込み抵抗が減り、硬さが減ると思われる。2次応力が1次応力と同大のときには加工硬化の影響がもっとも効いて硬さが増すと考えられる。いずれにしても2次応力による加工硬化は2次応力が高いほど大きく、疲れ寿命において、2次応力が1次応力よりも高いときには $\Sigma n/N > 1$ 、低いときには $\Sigma n/N < 1$ となるのは、 $\Sigma n/N$ 値が加工硬化の多少に依存するためと思われる。

2) 塑性ひずみ幅 $\Delta \varepsilon_p$ はヒステシス仕事にはほぼ比例する量である。繰返しの初期の仕事はおもにすべり帯やマイクロクラックの発生に要する仕事で、組織敏感であって、仕事量ひいては $\Delta \varepsilon_p$ も必ずしも応力振幅の大きさに依存しないと思われる。しかし $\Sigma n/N = 0.5$ 前後になると材料の流動抵抗に打ち勝ってすべったり、疲れき裂をより進展させたりする仕事がおもになり、仕事量ひいては $\Delta \varepsilon_p$ を増す量が応力振幅の大きいほど多いことが図5の各図に表われているものと思われる。

3) 硬さの変化にしても、塑性ひずみ幅の変化にしても、これらに塑性流動や加工硬化が影響すると思われるのは前述のとおりであるが、また塑性流動抵抗や加工硬化の度合いはせん断応力に依存するので、結局硬さや塑性ひずみ幅の変化はせん断応力に依存すると考えられる。さて曲げ応力振幅 $\sigma = 27.5, 30.5, 33.5 \text{ kg/mm}^2$ が作用する部位に働く最大せん断応力は理論的には $\tau_{\max} = 13.75, 15.25, 16.75 \text{ kg/mm}^2$ で、ねじり応力振幅 $\tau = 17.5, 18.5, 19.5 \text{ kg/mm}^2$ とはそれぞれ大きさがちがうが、大きさの順序は同じであるから、前記の σ と τ のせん断応力としての効果の量的順序はそれぞれの順序と同じと思われる。本実験において累積繰返数比、硬さ、塑性ひずみ幅の変化で、応力の種類にかかわらず、3. 2) で約束した意味の応力の高低のみに依存する結果が見られることから考えると、これらの諸量の変化に支配的に影響するのは供試材に生ずる最大せん断応力と思われる。

4) 3. 2) で述べたように、同大の2次応力でも1次応力が2次応力と異種の方が疲れ寿命における $\Sigma n/N$ が大きくなっている理由はつぎのように考えられる。1次応力と2次応力が同種のときはいうまでもなくそれらの作用点に生ずる最大せん断応力も同方向である。1次応力をそのままにして2次応力を異種にしたときは、本実験の場合はねじりと曲げの場合であるから理論上は、最大せん断応力の作用方向は 45° 異なる。2次応力に切換後最大せん断応力の作用方向が同方向よりも異方向の方が材料のすべり抵抗が増すので、3. 2) で述べた、2次応力

が1次応力と異種の方が $\Sigma n/N$ が大きくなるということが理解される。

5. 結 論

S 35 C 鋼焼鈍材でねじりと平面曲げの組合わせで2段2重重複繰返試験を行った際の供試材の挙動を調べる目的で疲れ寿命における累積繰返数比 $\Sigma n/N$ の差異、繰返しに伴う硬さや塑性ひずみ幅 $\Delta \varepsilon_p$ の変化を測定した。1次も2次応力も降伏点と疲れ限度の中間辺の過大応力とし、1次は $n/N=50\%$ 作用させ、2次は破断まで繰返した。いまねじりと平面曲げ応力の間でもそれぞれの定応力試験において疲れ寿命が同じ応力は同大の応力と呼ぶことにする。本実験に対する結論はつぎのとおりである。

- 1) 1次応力の種類にかかわらず、2次応力が1次応力よりも低いときは疲れ寿命において $\Sigma n/N < 1$ 、高いときは $\Sigma n/N > 1$ になった。同大の2次応力でも1次応力が2次応力と異種の方が $\Sigma n/N$ が大きくなった。
- 2) 応力の種類にかかわらず、2次応力が1次応力と同大のときは応力切換時より破断時の方が硬さが増し、より高くても低くても硬さが減った。
- 3) 応力切換時の $\Sigma n/N=0.5$ 付近までは $\Delta \varepsilon_p$ の大小は応力振幅の大小によらないが、これ以後は応力振幅が大きいくほど $\Delta \varepsilon_p$ は大きかった。
- 4) 寿命における $\Sigma n/N$ 値、硬さや $\Delta \varepsilon_p$ の変化に支配的な影響を及ぼすのは応力繰返中に供試材に生ずる最大せん断応力と解された。

報告を終えるにあたり、試験片の製作や試験機の保守に多大の努力をされた本校技官鳴沢勇吉氏ならびに実験の遂行や資料の整理に助力を惜しまなかった機械工学科4年目学生五十嵐邦博君、小暮弘昭君、高橋茂君らに対して深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 例えば、川田：機論，30-209, 46 (1964).
- 2) 例えば、西谷・吉川：機論，34-263, 1190 (1968).
- 3) 例えば、中村・星・青木：機論，35-278, 2012 (1969).
- 4) M. A. Miner：J. Appl Mech., 12, 159 (1945).