

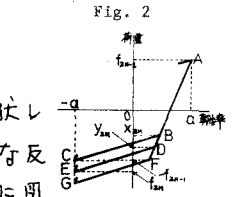
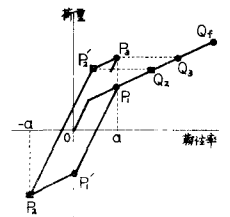
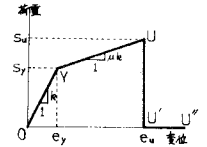
京都大学大学院 学生員 小池 武  
神戸市役所 正 員 泉並 隆二

### 1. まえがき

鋼材が繰り返し塑性曲げを受けて疲労破壊に至る過程は、材料特性の累進的な劣化の過程であり、したがってその復元力特性も定常性を保持しているとは言えない。本報告は、この劣化過程を持つ復元力モデルを提案し、その反力特性、1サイクル当りの消費エネルギー、剛性等の劣化性状に検討を加え実験結果との比較を行なうものである。

### 2. 履歴復元力モデル

金属材料の塑性疲労破壊過程は、繰り返し作用する荷重によって材料に塑性変形を生じる時、その結晶粒内にはすべりが発生しておりそのために生じる歪硬化現象によって材料の反力特性を高める強化過程と、すべりが繰り返されているうちに次第に発展して亀裂の発生・成長に至り反力特性を低下させる弱化過程の2つから構成されていると考え、静的破壊過程における歪硬化現象及び亀裂の発生・成長に伴う破断現象と $\sigma$ 間にある類似性が見い出せる。



塑性疲労破壊過程が静的破壊過程と同様のパターンをもつと仮定することによって以下のような構成モデルが提示できる。

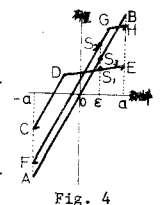
材料内部の任意断面には、図1の構成関係を有する要素が様々の降伏レベル ( $S_y$ )、究極強度レベル ( $S_u$ ) をもって連続的に分布して全体的な反力特性を構成しているものとする。そして仮定より繰り返し載荷と伴に図2の  $P_1 P'_1 P_2 P'_2 P_3 \dots$  の径路を辿るループを描くように制御する。この制御

は、式(1)で定義される硬化速度係数  $\zeta$  を導入してなされる。

$$\zeta = \frac{\sigma_{2n} - \sigma_{2n-1}}{\sigma_{2n} - \sigma_{2n-1}} \quad (1)$$

図3に示す径路BC ( $\zeta = 0$ ) は、従来の Bi-linear モデルの場合であり、Baushinger 効果のみが考慮されて反力特性は常に一定のままとなる。径路GF ( $\zeta = 1$ ) は、塑性疲労破壊過程における歪硬化の進行度が静的破壊過程のそれと等しい場合である。塑性疲労破壊過程では、 $\zeta$  はくり返し数の関数として0と1の間の値をとるものと考えられる。

図4に各要素の第  $n$  サイクル時の載荷径路を示す。要素の状態は、降伏強度の大きさが分布しているため次の三つに分類される。全体の復元力は、同図に示すように  $s_1, s_2, s_3$  で表わされる三つの状態にある要素がそれぞれ寄与することによって得られる。 $s_1, s_2, s_3$  の状態の要素を  $\epsilon$  タイプ、 $P$ - $\epsilon$  タイプ、 $P$ - $P$  タイプの要素と名づける。このとき第  $n$  サイクル載荷時の履歴復元力曲線(上枝)は次式で与えられる。



$$F_n^+(\varepsilon) = B_e + B_{pe} + B_{pp} \quad \text{----- (2)}$$

$$\begin{aligned} B_e &= \int_a^\infty \int_{\sigma_y}^\infty \varepsilon \varphi(\sigma_u, \sigma_y) d\sigma_u d\sigma_y, \quad B_{pe} = \int_{f_{2n+1}}^a \int_{-f_{2n}}^\infty \{(\varepsilon+a) + f_{2n}\} \varphi(\sigma_u, \sigma_y) d\sigma_u d\sigma_y \\ B_{pp} &= \int_0^{f_{2n+1}} \int_{f_{2n+1}}^\infty \{\mu(\varepsilon-a) + f_{2n+1}\} \varphi(\sigma_u, \sigma_y) d\sigma_u d\sigma_y \end{aligned} \quad \text{----- (3)}$$

ここに  $\varphi(\sigma_u, \sigma_y)$  は、 $\sigma_y, \sigma_u$  の不均一性を示す連続的な2次元頻度分布関数である。

### 3. 数値計算結果

本報告の履歴復元カモデルの妥当性を検証するために、H型断面を有するSS41構造用鋼材を使って繰り返し曲げ塑性疲労破壊試験を行なった。実験の詳細については、同時に報告されている後藤等の「くり返し曲げ荷重を受ける構造用鋼材の破壊過程に関する実験」を参照されたい。解析を簡単にするためにWebの影響を無視してFlange断面のみを解析の対象とした。数値計算にあたって、材料の最大終局靱性率を50、加工硬化時の第2勾配比  $\mu = 0.01$  を実験結果を参考に採用了。硬化速度係数  $\alpha$  は、本来くり返し数の関数として逐次変化すると考えられるが、ここに初期状態とそれ以後の定常状態に対応する2つの値  $\alpha_1, \alpha_2$  を与えた。

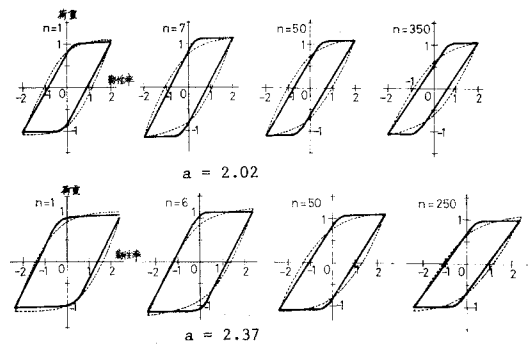


Fig. 5

図5は、靱性率変位振中  $\alpha = 2.02, \alpha = 2.37$  の場合の履歴復元カループである。実線が理論値、破線が実験値を示している。理論値が実験値に比べてややせすが大きく角張っているが、概略的には近似できるものであろう。

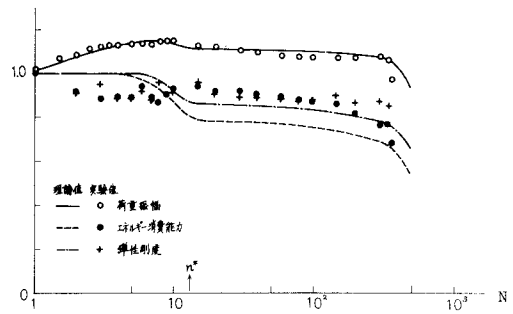


Fig. 6

図6は、反力特性、1サイクル当りのエネルギー消費能力、弾性剛性と載荷回数との関係を示したものである。曲線は理論値、ドットは実験値を示す。反力特性は、両者ともよく一致しているが、エネルギー消費能力、弾性剛性は、劣化の開始回数がケシズレており、理論値が実験値を下回る傾向がある。この回数のズレは、硬化速度係数  $\alpha$  を単純に  $\alpha_1, \alpha_2$  とし計算したことによるものと考えられる。

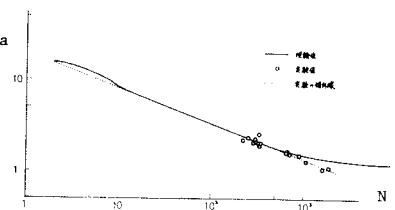


Fig. 7

図7は、S-Nカーブである。理論値を示す実線が、靱性率変位振中  $\alpha = 1$  付近で  $N \rightarrow \infty$  に近づいているのは、モデルの構成に当って弾性疲労を考慮していないことによる結果である。

参考文献 (1) 横堀武夫：材料強度学，技報堂

Vol. 33, Dec. 1966, pp. 893-900.

(2) W.D.Iwan: "The Distributed-Element Concept of Hysteresis and its Steady State Dynamic Response", J. of App. Mech.