

# 第28回材料研究連合講演会

## 前 刷 集

と き 昭和59年 9 月11日(火), 12日(水)

ところ 京 大 会 館

(京都市左京区吉田河原町15-9)

共 催：日本学術会議材料研究連絡委員会

化学工学協会，金属表面技術協会，軽金属学会，高分子学会，セメント協会，電気学会，\*土木学会，\*日本化学会，\*日本機械学会，\*日本金属学会，\*日本建築学会，日本航空宇宙学会，\*日本材料学会，日本材料科学会，日本材料強度学会，日本接着協会，日本船用機関学会，日本造船学会，日本鉄鋼協会，日本電子材料技術協会，日本非破壊検査協会，日本木材学会，溶接学会，窯業協会（※印 幹事学会）

武蔵工大 皆川 勝 武蔵工大 西脇威夫  
武蔵工大 増田陳紀 ○武蔵工大 斎藤哲郎

1. はじめに 鋼構造物の部材連結部等の不連続部には、地震等の複雑な変動荷重によって、弾性域を越える応力が繰り返し生じることがある。そのような構造物の挙動を推定するためには鋼材の履歴応力-ひずみ性状を工学的に意味のある範囲で精度よく実験結果を表わし得るようにモデル化する必要がある。本報告では、多曲面塑性モデル([1])を実験結果を基に修正し、任意の鋼材に本モデルを適用するために必要となる材料特性を決定するための実験方法およびその結果の評価方法を提案する。さらに、適用例としてSM41A鋼材に対して本方法を試行した結果を示す。

2. 修正Petersson-Popovモデル 履歴応力-ひずみ挙動は、多曲面理論によれば応力空間に定義される多曲面の拡大あるいは縮小および移動によって表現される。PeterssonおよびPopov([1])は、多曲面の大きさ $K$ と中心座標 $\{\alpha\}$ をそれぞれの径路における反転点からの相当塑性ひずみ $\bar{\epsilon}_p$ の関数とし、 $K$ が履歴のない場合の $K_a$ 、履歴効果が定常的になった場合の $K_b$ 、および累積相当塑性ひずみ $\bar{\epsilon}_p$ のみによって変化する重み係数 $W$ を用いて表現されるものとして応力-ひずみ関係をモデル化した。このモデルによれば、降伏棚とひずみ硬化域を有する処女応力-ひずみ曲線からBauschinger効果の現われるなだらかな曲線への移り変わり、および繰り返し軟化、硬化といった現象を適切に表現することはできない。さらに、全径路にわたる相当塑性ひずみの累積量を状態変数としてしていることによつて、図1に示す応力-ひずみ曲線の復帰現象([2])を表わすことができず、履歴効果を過大に評価する結果となる。本モデルはこれらを考慮して、次式によつて曲面の大きさを表わすものとした。

$$K = \begin{cases} W_1 K_a + (1-W_1) K_{ab} & : 0 \leq \bar{\epsilon}_p^* \leq \epsilon_{pst} \\ W_2 K_{ab} + (1-W_2) K_b & : \epsilon_{pst} < \bar{\epsilon}_p^* \end{cases} \quad (1)$$

$\bar{\epsilon}_p^*$  は、繰り返し載荷中にある一径路において生じる塑性ひずみのうち、直前回の径路での塑性ひずみ幅を越

えた量のみが履歴効果を有するものとして累積された相当塑性ひずみ(以後有効累積相当塑性ひずみと呼ぶ)である。 $K_{ab}$ は $\bar{\epsilon}_p^*$ が降伏棚終り時の塑性ひずみ $\epsilon_{pst}$ に達したときの曲面の大きさである。 $K_{ab}$ を新たに材料特性として導入することによつて、処女応力-ひずみ曲線からなだらかな曲線への変化を重み関数 $W_1$ により、また、繰り返しに伴うBauschinger効果の変化を重み関数 $W_2$ によりそれぞれ表現することができる。

3. 材料特性の評価方法およびSM41A鋼材に対する適用例 履歴応力-ひずみ挙

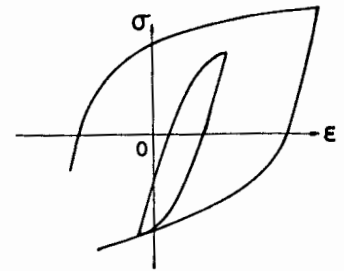


図1 復帰現象

Stress-Strain Relations of Steels Subjected to Loading Histories,  
Musashi Institute of Technology, Masaru Minagawa, Takeo Nishiwaki,  
Nobutoshi Masuda, Tetsuo Saitoh

動を推定するためには  $K_a, K_b, K_c$  および  $W_1, W_2$  を実験から決定する必要がある。本研究において使用した試験片の形状、寸法を図2に示す。

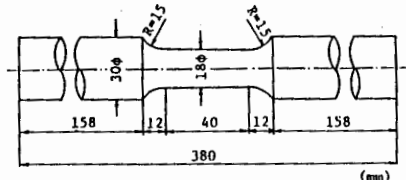


図2 試験片の形状寸法

履歴効果の程度を表わす状態変数を荷重反転点における  $\bar{\epsilon}_p^*$  および一径路の  $\bar{\epsilon}_{pi}$  と仮定することにより、上記の各特性値は単調引張試験と唯一回の荷重反転を含む数本の引張圧縮試験によって求めることができる。

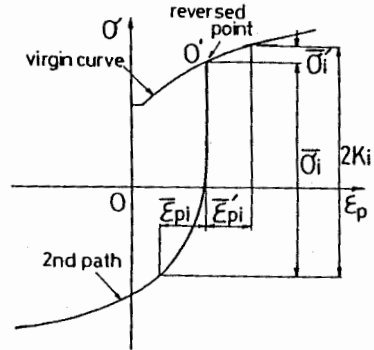


図3  $K_i$  の算出方法

各荷重反転点における曲面の大きさ  $K_i$  は、図3に示すように反転点  $O$  を原点として  $\bar{\sigma}_i - \bar{\epsilon}_{pi}$  および  $\bar{\sigma}_i - \bar{\epsilon}_p$  座標を設定し、 $\bar{\epsilon}_{pi}$  と  $\bar{\epsilon}_p$  とが等しい点における応力  $\bar{\sigma}_i$  と  $\bar{\sigma}_i$  を用いて、次式より  $\bar{\epsilon}_{pi}$  の関数として算出される。

$$K_i = [\bar{\sigma}_i (\bar{\epsilon}_{pi}) + \bar{\sigma}_i' (\bar{\epsilon}_{pi})] / 2 \quad (2)$$

定義より、 $K_a$  は単調載荷時、 $K_{ab}$  は降伏棚終了時での曲面の大きさである。また、 $K_b$  には8%反転時における曲面の大きさを採用した。これらの算出結果を図4に示す。

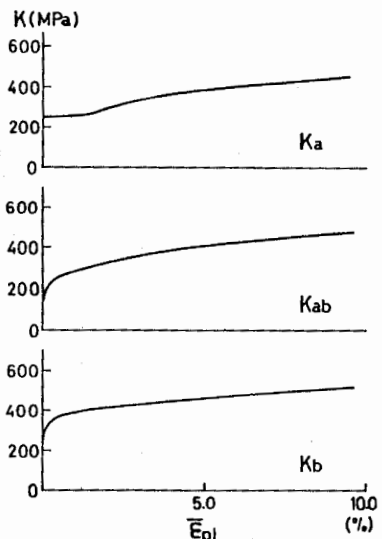


図4 材料特性  $K_a, K_b, K_c$

式(2)により各荷重反転点における  $K_i$  および  $K_a, K_b, K_c$  の材料特性が定めれば、式(1)から各々の有効積相当塑性ひずみに対して重み係数  $W$  が求まる。得られた重み係数を図5に示す。その結果より同図中に実線で示すように  $W_1$  は一次式、 $W_2$  は三次式で重み関数を決定した。

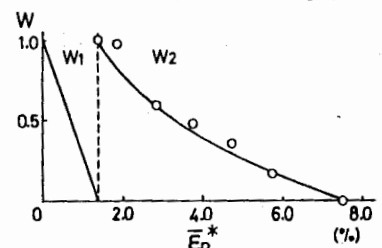


図5 重み関数

上記の方法によって求めた各材料特性を用いて非定常履歴応力-ひずみ関係を数値シミュレーションした結果を図6に示す。計算結果と実験結果との良好な合致より本方法の妥当性が確認された。

(参考文献)[1] Petersson, H., Popov, E.P., "Constitutive Relations for Generalized Loadings", Proc ASCE, Vol 103, No. EM4, 611-627, 1977.

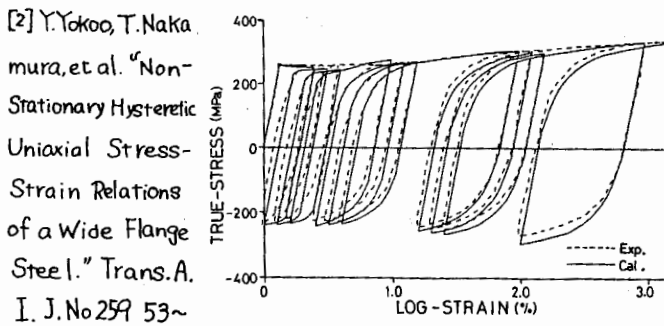


図6 履歴応力-ひずみ曲線

[2] Y. Yokoo, T. Nakamura, et al. "Non-Stationary Hysteretic Uniaxial Stress-Strain Relations of a Wide Flange Steel." Trans. A. I. J. No.259 53~56, 1977