

京都大学工学部 正員 ○杉浦 邦征
 SUNY at Buffalo K.C. Chang
 SUNY at Buffalo G.C. Lee

1. はじめに

繰返し荷重を受ける金属材料の非弾性特性、特にヒステリシスに関する研究は、おもに疲労破壊問題の解明と言う目的のため従来より数多く行われてきた。これらの多くは、単純な応力-ひずみ状態（例えば、軸応力・ひずみのみ）での特性に関するもので、構造用鋼材に対する最近の報告としては文献1)が挙げられる。しかし一般の複雑な応力状態（多軸）での非弾性特性に関する研究は非常に数少なく、文献2)のみである。本研究では、軸ひずみとせん断ひずみを繰返して受ける構造用鋼材の非弾性特性を実験的に確かめる。特に非比例ひずみ経路による載荷の影響に注目する。

2. 実験概要

実験は、MTS社製のコンピューター制御材料試験システムにより行われた。このシステムは電気油圧サーボ式2軸試験機（軸荷重容量：100kips、トルク容量：50kips-inch）、および制御・計測に用いられるミニ・コンピューター（Micro PDP11）から構成される。

一様なせん断応力分布を得る必要性から、薄肉中空断面の試験片を用いた。この試験片は、ASTM Grade A36に準ずるパイプ材より Fig. 1に示されるような寸法に成形され、残留応力除去・均一な物性を得るため試験に先立って熱処理を行った。実験より定められた材料定数をTable 1に示す。

本実験に用いたひずみ経路は、A)比例ひずみ経路、およびB)非比例ひずみ経路よりなる。Fig. 2に示されるように比例ひずみ経路は、(1)軸ひずみのみ、(2)せん断ひずみのみ、と3)比例二軸ひずみであり、また非比例ひずみ経路は(4)せん断ひずみ（原点に関して点対称でない）、と5)円経路（有効ひずみ一定）に代表される。

すべての実験は、一定ひずみ速度(10^{-4} 1/sec)で、また室温で行われた。

3. 実験結果と考察

Fig. 3に、塑性変形に対する弾性域の変化を調べるため段階的にあるレベルまでの塑性変形を与えた後、一時除荷して弾性域を求めた結果を示す。ここでは弾性域を、除荷点から0.03(%)のオフセット塑性ひずみを得た点で定めた。弾性域が初期値の約50(%)に

Table 1 材料定数

弾性係数 E (ksi)	せん断弾性係数 G (ksi)	降伏応力 σ_y (ksi)
30400	11400	32.0

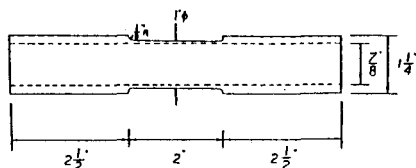


Fig. 1 試験片の寸法

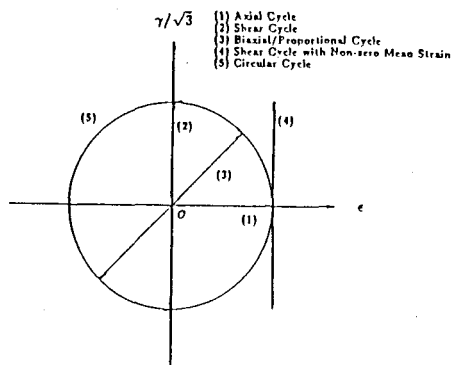


Fig. 2 ひずみ経路

達するような著しいBaushinger効果が見られる。これほどのBaushinger効果は、他の金属材料には見られない。

一定振幅にて繰り返し軸ひずみを受けた時の定常状態における応力-ひずみ曲線を、Fig. 4に示す。ここでひずみ振幅は、0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6と2.0(%)であり、それぞれ10サイクルずつ繰り返した。定常状態には数サイクルで達したが、繰り返し塑性変形による著しい硬化が見られる。従って繰り返しひずみを受ける場合と単調漸増ひずみを受ける場合は本質的に相異なると考えられる。

次に、Fig. 2の(5)のひずみ経路で载荷した時の定常状態での軸応力とせん断応力の軌跡を示す。このひずみ経路では有効ひずみが一定に保たれ、それぞれ0.4, 0.6, 0.8と1.0(%)である。有効応力表示による応力の軌跡もほぼ円形に近くVon Misesによる降伏曲面の定義の妥当性を示す。

非比例ひずみ経路(ここでは、Fig. 2の(5)のひずみ経路)による载荷を受ける前後の同振幅の軸ひずみのみを受けた時の定常状態における軸応力-ひずみ曲線を、実線でFig. 6に示す。両者の違いはピーク時において約1(ksi)程であるから工学上有意な差はないと考えられる。また破線は、非比例ひずみ経路下の結果を示す。しかし非比例ひずみ経路によって载荷を受ける場合、応力レベルは著しく向上する。

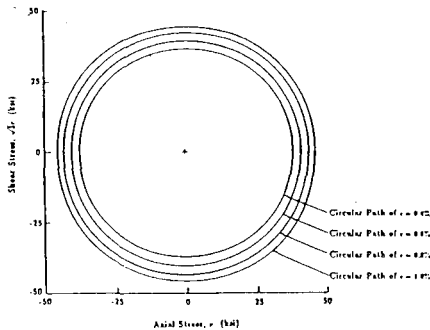


Fig. 5 非比例ひずみ経路での载荷時の応力軌跡
参考文献

- 1) Chang, K.C. and Lee, G.C., "Biaxial Properties of Structural Steel under Nonproportional Loading," *Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE*, Vol.112, No.8, 1986, pp.792-805
- 2) Coffie, N.G. and Krawinkler, H., "Uniaxial Cyclic Stress-Strain Behavior of Structural Steel," *Journal of Engineering Mechanics, ASCE*, Vol.111, No.9, September, 1985, pp.1105-1120

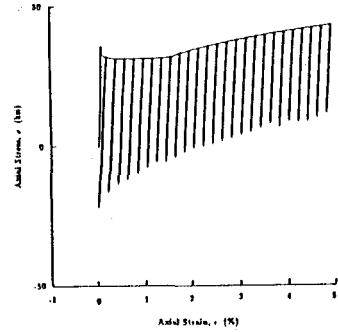


Fig. 3 塑性変形による弾性域の変化

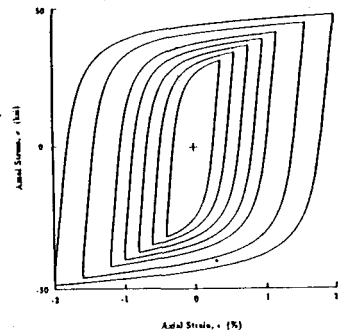


Fig. 4 軸応力-ひずみ曲線

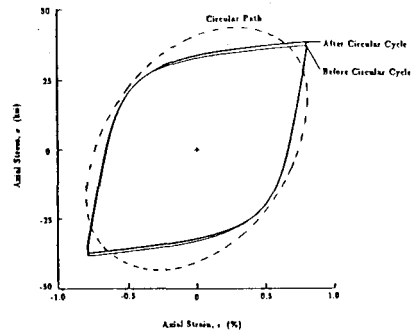


Fig. 6 非比例ひずみ経路の影響