

自然歪を用いた大きな引張の予変形後のメカニカルラチェット現象  
(一定歪幅の繰り返し両振り剪断荷重の場合)

Mechanical Ratcheting Phenomena after applying Large Pre-deformation of Uniaxial Tension using Natural Strain  
In Case of Repeated Alternated Shear Loads with Constant Strain Amplitude

○岩野天翔<sup>1</sup>, 鈴木敦斗<sup>2</sup>, 山路大貴<sup>2</sup>, 加藤保之<sup>3</sup>

\*Tensho Iwano<sup>1</sup>, Atsuto Suzuki<sup>2</sup>, Daiki Yamaji<sup>2</sup>, Yasuyuki Kato<sup>3</sup>

Abstract: This paper describes mechanical ratcheting phenomena which is obtained under cyclic alternated shear loads with constant strain amplitude after applying pre-deformation of large uniaxial tension to test specimens made of tough pitch copper. Since the back stress arises in the test specimens when a large pre-deformation of uniaxial tension is applied, the center of yield surface move toward tension side not only the yield surface expands. Therefore, it is expected that the back stress brings by pre-deformation of uniaxial tension effects on the ratcheting phenomenon obtained under cyclic alternated shear loads. In the present study, based on the Natural Strain theory that is effective strain representation under a large deformation, the ratcheting behaviors are investigated with different magnitudes of dead load for tension or compression.

1. 緒言

ラチェット現象に関する研究については、従来から多くの研究が行われてきたが、そのほとんどが微小変形を対象としたものであり、大変形下のラチェット現象に関してはほとんど明らかにされていない。大きな予変形を与える過程で背応力が発生し、応力空間内の降伏曲面の中心が移動する。そのため背応力が、その後の繰り返し荷重を与える際に発生するラチェット挙動に影響を及ぼすことが予測される。

本研究では大きな引張の予変形を与えることで背応力が既に生成された試験片に異なる大きさの引張や圧縮のデットロードを与えて、一定歪幅で剪断の繰り返し荷重を加えてラチェット挙動を調査する。

2. 剪断の繰り返し荷重下のラチェット現象

図1は、応力空間内のラチェット挙動を模式的に描いたものである。この図の横軸のプラス側が引張をマイナス側が圧縮の垂直応力を、また縦軸が剪断応力をそれぞれ表している。引張または圧縮のデットロードを与える過程がこの図の緑色の直線  $O' \rightarrow B'$  であり、この引張または圧縮のデットロードを保持した状態で、降伏曲面に接するまで順方向側に剪断応力を増加させる(図中の  $B' \rightarrow C'$ )。このとき応力点の位置は、降伏曲面上に留まるのに対して、曲面の中心から放射方向に向かって塑性歪が発生するため歪点の位置は移動する(図中の  $C \rightarrow D$ )。従って、剪断歪成分だけでなく伸び(または縮み)の歪成分が同時に発生する。本研究では剪断歪の値を規定値まで加えた後に、デットロードを保持したままで剪断応力を除荷し、更に逆剪断を加える(図中の  $D' \rightarrow E'$ )。同様に、応力点の位置は降

伏曲面上に留まるのに対して、塑性歪が放射方向に発生するため、剪断歪成分だけでなく伸び(または縮み)の歪成分が同時に発生する(図中の  $E \rightarrow F$ )。更に、剪断歪の値を規定値まで加え、デットロードを保持したままで剪断応力を負荷する。以上の一連のプロセスを繰り返すことにより、応力空間内では、歪が鋸刃状に現れラチェット挙動が発生することになる。予変形時には引張側に背応力  $\alpha$  が発生する。そのため、デットロードを引張に与えるか圧縮に与えるかにより、剪断の繰り返し荷重下で発生するラチェットのピッチ(即ち、図1中の  $p_t, p_c$ )に違いが現れる。本研究では、引張または圧縮のデットロードの大きさを変えて実験を行い、ラチェット挙動を調査する。

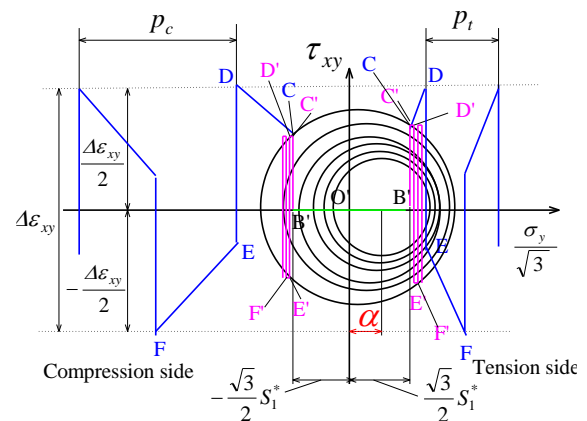


Fig.1. Mechanical ratchet under alternate shear loads

3. 実験方法と実験条件

引張または圧縮のデットロードを保持したまま、剪断の繰り返し荷重を加える必要があるため、軸力と振りを同時に作用することができる多軸試験機を用いて

1 : 日大理工・学部・機械、 2 : 日大理工・院(前)・機械、 3 : 日大理工・教員・機械

実験を行う。また、試験片は、焼鈍し処理を施した円筒形状のタフピッチ銅（純度99.9%）を採用する。

本実験は、最初に与える引張の予変形の実験と、剪断の繰り返し荷重下で得られるラチェット挙動に関する実験の2段階で構成されている。

(I) 単軸引張の予変形の実験条件

大きな引張を偏差歪の値が  $e_1 = 0.26$  [-]（ストレッチ量  $m = 1.30$  [-]）まで加える。

(II) ラチェット挙動の実験条件

引張または圧縮のデッドロード  $S_1^*$  を一定に保持したままで一定歪幅  $4\varepsilon_{xy} (= 4\gamma_{xy}/2) = 0.0044$  [-] で剪断の繰り返し荷重を与える（ただし、繰り返し数  $N$  は10サイクルである）。なお、デッドロードの条件は、 $S_1^* = 120, 80, 40, 0, -40, -80, -120$  [MPa] の7通りで与える。

4. 実験結果と考察

図2, 図3, 図4は、引張の予変形後に引張または圧縮のデッドロードの値を与えたままで、一定歪幅の剪断の繰り返し荷重を与えた際に得られるラチェット挙動を表したものであり、この図の横軸は、引張または圧縮の垂直歪を、一方で、縦軸は、剪断歪  $\varepsilon_{xy} (= \gamma_{xy}/2)$  をそれぞれ表している。ここで、図2が引張側に与えたデッドロードと圧縮側に与えたデッドロードの値が最も大きい  $S_1^* = 120, -120$  の結果を、図3が  $S_1^* = 80, -80$ 、図4が  $S_1^* = 40, -40$ 、と最も小さい  $S_1^* = 0$  の結果をそれぞれ表している。これらのラチェット挙動の大きさを比較すると、デッドロードの絶対値が大きい程、ラチェットのピッチの間隔（即ち、図1中の  $p_t, p_c$ ）が大きく発生し、そのため繰り返し後に得られる引張と圧縮の垂直歪が大きくなる事が確認できる。これらの図でデッドロードを引張に与える場合には、ラチェット挙動は引張側に現われ、同様に圧縮側に与える場合には、ラチェット挙動は圧縮側に発生する。また、引張側に比べ圧縮側のラチェット挙動が大きく発生する。これは降伏後の塑性流動が Prandtl-Reuss の放射則より、塑性歪の方位が降伏曲面の中心から放射方向に発生し、そのため引張側に比べて圧縮側の塑性歪の向きが横軸により近づき（傾きが小さくなり）、圧縮側のピッチ ( $p_c$ ) が引張側のピッチ ( $p_t$ ) に比べて大きくなるためであると考えられる。また、図4中の黄色のプロットは、デッドロードが無い  $S_1^* = 0$  の結果を表しており、ラチェット挙動は圧縮側に僅かに発生している事が確認できる。これは予変形が引張である本研究では、背応力  $a$  が引張側に発生し、降伏曲面の中心位置が引張側に存在することから繰り返し荷重時に発生する塑性歪の方位は、圧縮側になるためである。

5. 結言

引張の予変形後に、引張または圧縮のデッドロードを種々の条件で与えて、剪断の繰り返し荷重下のラチェット挙動を調査し、以下のことが明らかとなった。

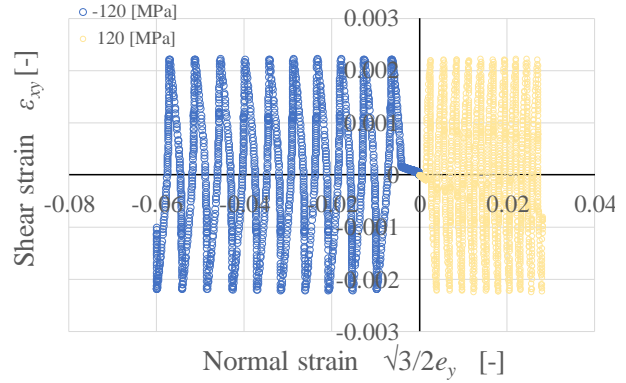


Fig.2. Mechanical ratchet under alternate shear loads ( $S_1^* = \pm 120$ )

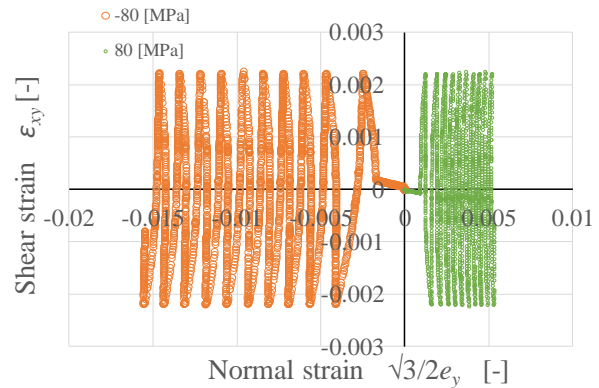


Fig.3. Mechanical ratchet under alternate shear loads ( $S_1^* = \pm 80$ )

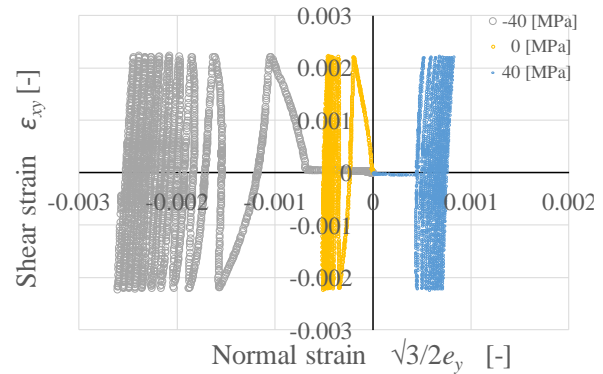


Fig.4. Mechanical ratchet under alternate shear loads ( $S_1^* = \pm 40, 0$ )

- (1) デッドロードが大きい程、ラチェットのピッチが大きくなり、そのため引張側と圧縮側に発生するラチェットの量も大きくなる。
- (2) 背応力が発生する方向と反対側である圧縮のデッドロードを与えた場合には、背応力の方向である引張側にデッドロードを与えた場合に比べてラチェットのピッチが大きくなる。
- (3) デッドロードが零の場合には、圧縮側にラチェット挙動が僅かに発生する。また、繰り返し数の増加と共に、予変形時に生成された背応力が減衰し、そのため、ラチェット挙動も小さくなる。