

K-2

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

(引張のデッドロードの下で両振り剪断荷重の歪幅をサイクルごとに増加させる場合のラチェットのピッチについて)

Mechanical Ratcheting Phenomena after applying Large Pre-deformation of Uniaxial Tension using Natural Strain
(Ratcheting Pitch under Tensile Dead Load obtained by Increasing Strain Amplitude in Alternated Shear Loads)

○内山雄貴¹, 山路大貴², 加藤保之³

* Yuki Uchiyama¹, Daiki Yamaji², Yasuyuki Kato³

Abstract: Since the anisotropy progress with an increase of the pre-deformation of tension, a center of a yield surface moves toward the tension side and then the back stress is formed at the side of the pre-deformation applied. Hence, not only the value of dead load for tension but also the value the back stress is closely related to the mechanical ratcheting behavior. In the present study, the experiments are conducted with the condition that the size of strain amplitude is increased in each cycle, and the relation between strain amplitude during alternating shear loads and ratchet pitches will be revealed.

1. 緒言

本研究の目的は、試験片に予め大きな引張の予変形を与えた後に順方向と逆方向の繰り返し荷重を与える際に生じるラチェット現象を自然歪理論に基づき調査することである。大きな引張の予変形を与えると引張側に背応力が形成される。本研究では、この背応力が形成された試験片に引張のデッドロードをかけたまま両振り剪断の繰り返し荷重を一定歪幅の下で与えてメカニカルラチェット現象のピッチを調査してきた。

本研究では、更に両振り剪断における歪幅の条件に着目する。剪断の歪幅を増加させることによって、ラチェット現象で発生するピッチも増加することが予想される。そこで、引張のデッドロードの条件や歪幅の増加条件を様々に変えて実験を行い、それらがラチェットのピッチに及ぼす影響を明らかにする。

り返し荷重を与えた際に生じるラチェット挙動を模式的に描いたものが、図2である。なお、この図の横軸は、垂直応力を、また、縦軸は、順方向と逆方向の剪断応力をそれぞれ表している。引張のデッドロードを一定値に固定したまま順方向側に剪断を与える過程が図中のB'→Dで、この時、応力点の位置は降伏曲面上のC点にとどまるのに対して、歪点の位置は、プラントル・ロイスの塑性流動則に従うと仮定すると、降伏曲面の中心から放射方向に塑性歪が生じC→Dのように歪点が移動する。この時、剪断歪の増加だけでなく伸び歪の増加も伴いその結果ラチェット挙動が現れる。次に、引張のデッドロードを保持したまま、剪断応力を除荷し、更に逆方向側に剪断応力を加える。先ほどの場合と同様に、応力点の位置は降伏曲面上にとどまるのに対して、歪点の位置は、放射方向にE→Fのように移動して逆剪断側にラチェット挙動が現れる。

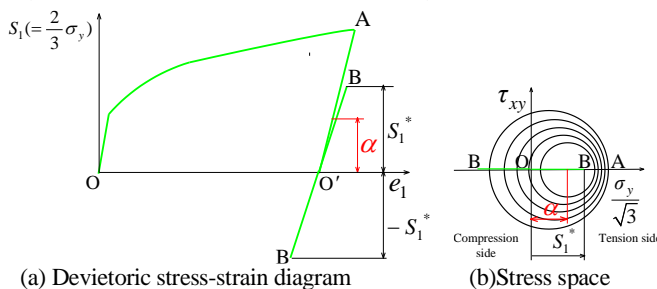
2. 引張の予変形とラチェット挙動の関係

2.1 引張の予変形時に生成される背応力 α

図1は、大きな引張の予変形後に得られる偏差応力-偏差歪線図ならびにその応力空間内の降伏曲面を示している。ここで、図1(a)中のO→A→O'が引張の予変形を与えて除荷をするまでの過程を示し、この時、(b)の様降伏曲面は膨張するとともに α だけ、コア円の中心位置は移動し、異方性が形成される。

2.2 デッドロードとラチェット挙動の関係

次に、図1(b)のO→Bの様デッドロード S_1^* を与え、それを一定値に保持したまま、両振り剪断の繰



(a) Deviatoric stress-strain diagram (b) Stress space
Fig.1. Back stress generated after pre-deformation of large tension

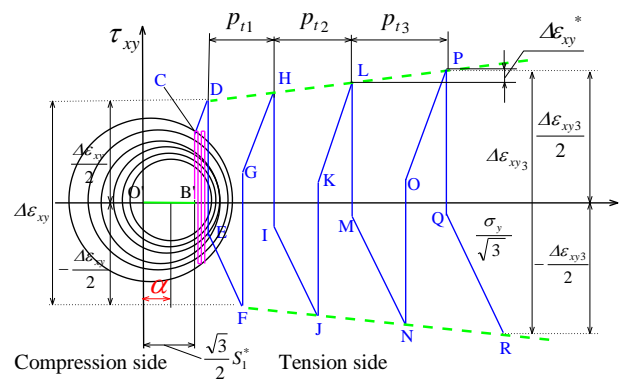


Fig.2. Relation between strain amplitude and ratchet pitch.

2.3 両振り剪断の歪幅とラチェット挙動の関係

緒言で述べたように、本研究では両振り剪断の繰り返し荷重時の歪幅の条件を変えて調査する。図2に示すように2サイクル目以降から剪断歪の歪幅 $\Delta\epsilon_{xy}$ をサイクルの進行とともに増加させて実験を行い、ラチェットのピッチ p_i を調査する。

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

3. 実験方法ならびに実験条件

焼きなましが行われた円筒形状のタフピッチ銅の試験片を多軸負荷試験機に装着して実験を行う。本実験は、引張の予変形を与える実験と両振り剪断の繰り返しによるメカニカルラチェットの実験から構成される。

まず、予変形の実験条件については、すべての試験片に対して同一値のストレッチ量 $m = 1.3[-]$ (即ち、伸び歪 $e_l = 0.26[-]$) を与える。次に、予変形後の剪断の繰り返し荷重下で得られるラチェット挙動の実験条件については、歪幅の初期値 (即ち 1 サイクル目の歪幅) を $4400\mu[-]$ に設定し、歪幅の増加量 Δe_{xy}^* を $100\mu[-]$ に固定し、デットロードの値を変えて行う実験 (表 1) と、逆に、デットロードの値 S_l^* を 60 [MPa] に固定して歪幅の増加量を変えて行う実験 (表 2) の 2 通りの条件で行う。但し、繰り返し数 N は 10 サイクルとする。

Table.1. Exp. conditions 1.

Dead load S_l^* [MPa]	Increment of strain amplitude Δe_{xy}^* [-]
0	100
40	
60	
80	

Table.2. Exp. conditions 2.

Dead load S_l^* [MPa]	Increment of strain amplitude Δe_{xy}^* [-]
60	0
	40
	70
	100

4. 実験結果と考察

歪幅の増加量 Δe_{xy}^* を $100\mu[-]$ に固定して、デットロードの値を変えてラチェット挙動を調査した結果を図 3 に示す。歪幅を増加させない前報の研究では、サイクル数の増加に伴いラチェットのピッチが減少するのに対し、歪幅を増加させて行った本研究の実験結果は、サイクルの増加と共にラチェットのピッチが増加する傾向となることがこれらの図から確認できる。また、デットロードを引張側に与える量を増加させる程、ラチェット挙動が大きく発生していることが確認できる。なお、デットロード $S_l^* = 0\text{ [MPa]}$ でラチェット挙動は圧縮側に発生する。これは予変形で生成される背応力が引張側に存在しているためである。

次に、デットロードの値を $S_l^* = 60\text{ [MPa]}$ に固定して、歪幅の増加量を表 2 の様に種々の値に変えて行った実験結果を図 4 に示す。ここで、歪幅の増加量を $\Delta e_{xy}^* = 0\mu[-]$ と設定する場合、即ち、歪幅を変えない場合の結果が、この図の緑色のプロット (●) であり、サイクルの

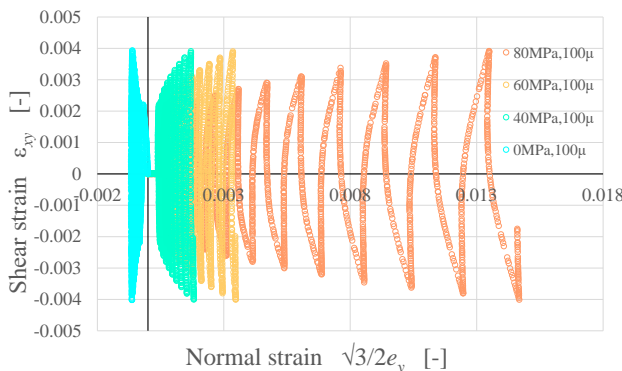


Fig.3. Mechanical ratchet ($\Delta e_{xy}^* = 100\mu[-]$)

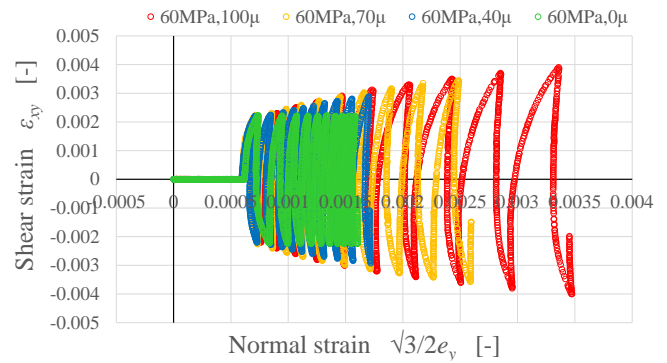


Fig.4. Mechanical ratchet ($S_l^* = 60\text{ [MPa]}$)

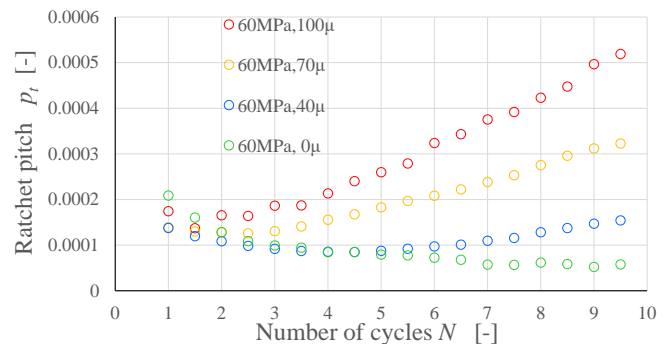


Fig.5. Relation of ratchet pitch and number of cycles N ($S_l^* = 60$)

増加と共にラチェットのピッチが減少する傾向を示す。一方で、歪幅の増加量 Δe_{xy}^* を増やす程、サイクル数の増加と共にラチェットのピッチが増えることがこの図から確認できる。

次に、図 5 には、サイクル数の増加に伴うラチェットのピッチの関係を示す。サイクルの初期の段階では、一度ピッチは減少するが、サイクル数の増加につれて、ピッチが増加する様子がこの図より確認できる。更に、このピッチが増加する傾向は、歪幅の増加量 Δe_{xy}^* が大きい程、サイクルの初期の段階から起こることがこの図から確認できる。

5. 結言

引張の大きな予変形を与えた後に両振り剪断の繰り返し荷重時の歪幅の条件を変えてラチェットのピッチを調査し、以下のことが明らかとなった。

- (1) 歪幅を変えない場合には、サイクル数の増加と共にラチェットのピッチは減少するのに対して、歪幅を増加させる場合には、ラチェットのピッチは増加する。
- (2) デットロードの値が大きい程、ラチェットのピッチも大きくなる。
- (3) 歪幅の増加量 Δe_{xy}^* が大きい程、ラチェットのピッチも大きくなる。
- (4) サイクルの初期の段階では、一度ピッチは減少するが、サイクル数が増加するにつれ、ピッチは増加傾向を示す。また、歪幅の増加量が大きい程、サイクルの初期の段階からその傾向が現れる。