

K5-21

自然歪理論に基づき推定した大きな単純剪断の予変形後の引張と圧縮の繰返し荷重下で得られる降伏応力

(予変形の変形様式の違いが繰返し荷重下の降伏応力に与える影響)

Yield Stress based on Natural Strain Theory obtained under Cyclic Load for Tension and Compression after applying Pre-deformation of Large Simple Shear

(Effect of Difference in Types of Pre-deformation on the Yield Stress under Cyclic Loads)

○佐藤 大樹<sup>1</sup>, 内田 大樹<sup>2</sup>, 加藤 保之<sup>3</sup>  
Daiki SATO<sup>1</sup>, Hiroki UCHIDA<sup>2</sup>, Yasuyuki KATO<sup>3</sup>

Abstract: This paper describes the transition of yield stress measured under cyclic load for tension and compression after applying the large simple shear. Especially, the transition of yield stress with an increase of cycle number is investigated under conditions of the different size of the pre-deformation of simple shear and the different size of the strain amplitude. Moreover, the experimental results in the present study are compared with the results of previous study, which has been measured under cyclic load for tension and compression after applying the large uniaxial tension.

1. 緒言

微小変形下の繰返し荷重時の降伏現象については、多くの研究が行われてきたが、大変形後の繰返し荷重時の降伏現象については、あまり研究が行われていない。

これまでタフピッチ銅の試験片を用い、主軸線素が固定される単軸引張と、主軸が回転し、その線素の入れ換わりが伴う単純剪断の予変形に着目して、それらの大きな予変形を与えた後に一定歪幅で繰返し荷重を加える際に各サイクル内で得られる降伏応力を調査してきた。

しかし、これまで行ってきた研究では、予変形の過程で与える変形の様式と繰返し荷重の変形の様式が同一の場合であり、予変形とその後の繰返し荷重時の変形様式が異なる場合については検討が行われていなかった。

そこで本研究では変形様式が異なる一例として、単純剪断の大きな予変形を与えた後に引張と圧縮の繰返し荷重を一定歪幅で加えて、各サイクル内の降伏応力を調べて行くことにする。特に、過去に行った予変形と繰返し荷重の変形の様式が同一である引張の予変形後に引張と圧縮の繰返し荷重を加える実験結果と、本研究の実験結果を比較し、予変形の変形様式の違いが繰返し荷重下の降伏応力に与える影響を明らかにする。

2. 繰返し荷重下の降伏応力の決定方法

大きな単純剪断を加えた試験片に、再度、引張と圧縮の繰返し荷重を加える際の 1 サイクル目の偏差主応力-偏差主歪線図を図 1 に示す。この図では、点 B から除荷をし、再度引張を加え再降伏する過程を緑色の曲線で表している。この時、点 B の応力が明らかであることから、再降伏時の降伏応力値が既に確定しており、それは図中の点 F で表わされることになる。点 F の近傍では、偏差主応力-偏差主歪線図は緩やかな曲線となるが、本研究では、その緩やかな曲線を式 (1) で示す実験式に仮定する (ただし、式中の係数  $a, b, c, d$  の値は、実験値に一致するように、LM 法を用いて決定する)。

$$S_1 = a (1 - \exp(-be_1)) + ce_1 + d \tag{1}$$

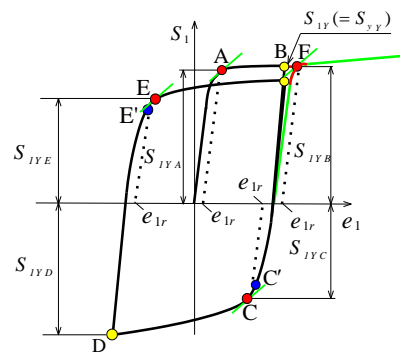


Fig1. Yield stress in the first cycle

更に、式 (1) を微分すると、この曲線の傾きが式 (2) のように表される。

$$\frac{dS_1}{de_1} = -ab \exp(-be_1) + c \tag{2}$$

これより点 F 上の再降伏時の接線係数が推定できる。

次に、サイクル内の降伏応力について説明すると、まず、引張の歪を与えた直後の再降伏時の応力値については、降伏前後の緩やかな曲線領域の偏差応力を再び LM 法により、式 (1) を用いて表し、点 F で求めた接線係数と同一値となった応力、即ち図中の点 A を降伏応力  $S_{1YA}$  と定める (点 A の ● 参照)。次に、引張の歪を一定歪幅で与えた後に得られる引張側の降伏応力は、点 B の除荷直前の応力  $S_{1YB}$  で表される (点 B の ● 参照)。更に、この状態から圧縮荷重を加え続けた圧縮側での降伏応力は、降伏前後の緩やかな曲線領域の偏差応力を再び LM 法により、式 (1) を用いて表し、点 F で求めた接線係数と同一値となった応力、即ち図中の点 C を降伏応力  $S_{1YC}$  と定める。更に圧縮を一定歪幅で与えた後に得られる降伏応力は、点 D の圧縮荷重の除荷直前の応力  $S_{1YD}$  で表される (点 D の ● 参照)。同様に、この状態から引張側に荷重を加え続けた時の降伏応力は、点 A や点 C の場合と同様に求めることができ、それは点 E の応力  $S_{1YE}$  で表される。一方で、一般的に用いられる耐力による降伏応力は、点 F から除荷をして得られる残留歪  $e_r$  を基準に決定されるため、点 C' や点 E' のように小さく推定される。

1: 日大理工・学部・機械, 2: 日大理工・院・機械, 3: 日大理工・教員・機械

### 3. 実験方法

本実験では、タフピッチ銅（純度 99.99%）の焼き鈍し円筒試験片を採用する。また、剪断の予変形を与える際には、標点部に抱かせた円盤形状の治具に細いワイヤーを張り、ロータリーエンコーダーで回転角の計測を行う。

本実験は大きな剪断の予変形と、予変形後の引張と圧縮の繰り返し荷重を与える実験の 2 段階で構成されている。まず、剪断の予変形については、大きさの異なる 3 通りの予変形（ストレッチ量で  $\lambda=1.2, 1.3, 1.6$  [-]）を与えて実験を行う。次に、予変形後の繰り返し荷重を与える実験条件については、試験片に歪ゲージを装着し、引張と圧縮の繰り返し荷重の歪幅を  $\Delta e_1 = 0.006$  [-] に設定して実験を行う（ただし、繰り返し数  $N$  は 10 回である）。

### 4. 実験結果と考察

図 2 は、剪断の予変形後に引張と圧縮の繰り返し荷重を加えた際に得られる偏差応力-偏差歪線図の一例を示したものである。ここで、図 2 (a) は、予変形  $\lambda=1.6$  [-] で歪幅  $\Delta e_1 = 0.006$  [-] を与えた場合の結果を、一方で図 2 (b) は、予変形量  $\lambda=1.3$  [-] の場合の結果である。また、これらの図の降伏応力と繰り返し数  $N$  の関係を表したものが図 3 (a) と (b) である。図 1 の  $S_{IYC}$  と  $S_{IYE}$  の値は繰り返し数の増加と共に減少傾向となり（図中の赤色の破線）、その減少傾向は繰り返しの初期の段階で大きく表れる。また、図 3 の (a) と (b) の結果を比較すると、予変形

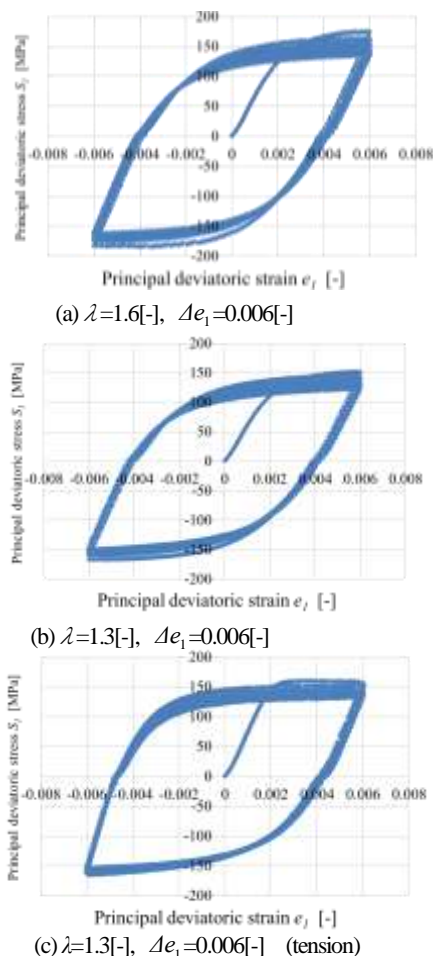


Fig.2. Principal deviatoric stress - deviatoric strain diagram

量の大きい (a) の結果は、予変形量の小さい (b) の結果に比べて降伏応力の初期の減少傾向が大きいことがわかる。一方で、耐力の結果は、図 3 の青色の破線で描かれ、本研究で推定した接線係数を用いて求めた降伏応力（赤色の破線）に比べて小さくなる。最後に、本研究と過去の研究（引張の予変形後に引張と圧縮の繰り返し荷重で得られる降伏応力）を比較した結果について説明する。図 2 と図 3 の (c) は、予変形が引張の場合の結果であり、予変形が剪断の (b) の結果に比べると、点 B（図 1 参照）の降伏応力の減少傾向に比べ点 D の減少傾向が小さいことがわかる。更に、図 2 の (b) と (c) の比較から、点 D から点 B までの圧縮後の引張の過程の偏差応力-偏差歪線図の形状が異なっていることが確認できる。

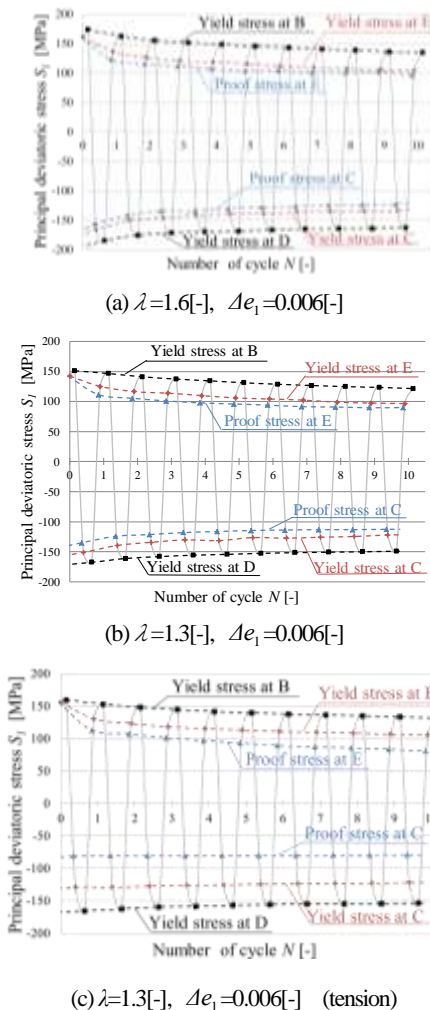


Fig.3. Variation of yield stress with increase of number of cycle

### 5. 結言

本研究では剪断の予変形後の繰り返し荷重の各サイクルで得られる降伏応力を調べ、以下のことが明らかとなった。

- (1) 繰り返し数の増加とともに降伏応力は減少し、繰り返しの初期にその傾向が大きく表れる。
- (2) 耐力による方法は、接線係数に基づき推定した本手法の降伏応力に比べ小さい結果となる。
- (3) 引張の予変形後の繰り返し荷重時の降伏応力は、剪断の予変形の場合に比べ圧縮側の減少傾向が小さい。