K-16

自然歪を用いた大きな剪断の予変形後の引張と圧縮の一定歪幅の繰り返し荷重下で得られるメカニカルラチェット現象
（逆剪断のデッドロードの場合）

Mechanical Ratcheting Phenomena under repeated Tension-compression loadings with Constant Strain Amplitude after applying Large Pre-deformation of Shear using Natural Strain
(On Reverse Shear Dead Load)

○山路大貴[1]，　加藤淳一[2]，　加藤保之[3]
*Daiki Yamaji[1], Junichi Kato[2], Yasuyuki Kato[3]

Abstract:　Based on the Natural Strain theory, the mechanical ratcheting phenomenon obtained under cyclic Tension-compression loads with constant strain amplitude after applying pre-deformation of large shear to test specimens made of tough pitch copper is examined in this paper.　In our previous study, as for the dead load given in repeated loadings, the mechanical ratcheting phenomena when the dead loads are subjected to the forward shear side have been examined.　In the present study, reverse shear dead load are investigated, especially, the relation between the ratcheting phenomena obtained under reverse shear dead load and phenomena obtained under forward shear dead load are compared in this paper.

１．緒　言

本研究では大変形下の弾塑性挙動を表す上で有効な自然歪理論に基づき，試験片に大きな予変形を与えた後に一定歪幅の下で繰り返し荷重を与えるときに生じるメカニカルラチェット現象について調査する．予変形を与える際には，その履歴に依存して降伏曲面の形状や物性値に変化が発生する．そのため，繰り返し荷重時に生じるラチェット挙動に影響すると考えられる．

前報の研究では，剪断の予変形を与えた事で異方性が形成された試験片に，再度，剪断のデッドロード（すなわち，負荷を一定値に保持した状態）を加えて，引張・圧縮の繰り返し負荷を作用させてラチェット現象を調査してきた．本研究では，更に，逆剪断のデッドロード与える場合についてラチェット現象を調査する．

２．引張–圧縮の繰り返し荷重下のラチェット挙動

最初に，大きな単純剪断の予変形（即ち，図１中の緑色の曲線 0→A→0’）を試験片に与える．図１には，は，単純剪断の大きな予変形を表している．

この大きな剪断の予変形を受けることにより，図２中の，歪硬化係数が同一値の降伏曲面内部の曲面群の間隔は，順方向剪断側で間隔が密になり異方性が形成される．このとき背応力αは，予変形と同一方向である順剪断側に形成される．

次に，この背応力の方位とは逆向きの剪断のデッドロード（即ち，図１及び図２中の緑色の曲線 0′→B）を与えたままで一定の歪幅の下で，引張と圧縮の繰り返し荷重を与える．図２には，その際の剪断応力と垂直応力の関係（ピンク色の線）に剪断歪と垂直歪の関係（青色の線）が，重ねて描かれている．ここで，引張を規定の垂直歪の値e_yまで与えた状態が図中のＣ点である．このとき応力点の位置はＣ′点に存在し，降伏曲面上に留まるのに対して，歪点の位置は純弾性を表す内側の曲面の中心から放射方向に塑性歪が発生する（即ち，Ｃ′ →Ｃ）．その際，垂直歪の増加だけでなく剪断歪は減少し，試験片には逆捩りが新たに生じる．次に，一定剪断応力のままで引張を除荷し，さらに圧縮を規定の垂直歪の値$-e_y$まで与えた状態が図中のＤ点

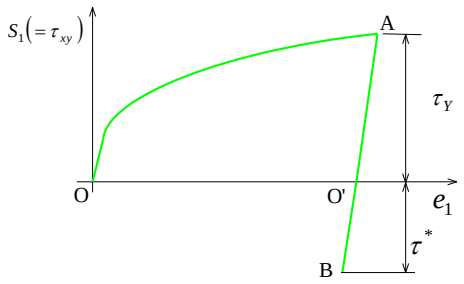


Fig.1. Pre-deformation of large shear and dead load

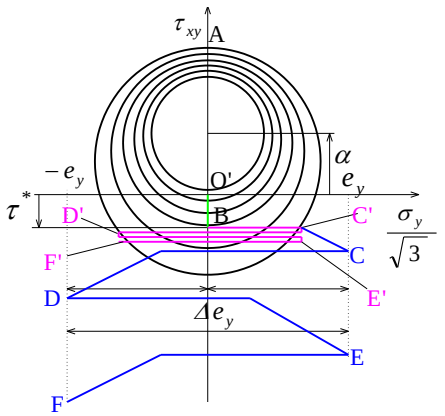


Fig.2. Mechanical ratcheting under cyclic tension-compression

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

である．同様に，応力点の位置はD′点に存在し，降伏曲面上に留まるのに対して，歪点の位置は放射方向に塑性歪が発生し，垂直歪が減少するだけでなく剪断歪も減少する．次に，一定剪断応力のままで圧縮の除荷をし，再度，引張を一定の垂直歪の値まで与えた状態が図中のＥ点である．その後，引張の除荷をし，圧縮を与えた状態が図中のＦ点であり，これらの一連のプロセスを繰り返すことで試験片には逆剪断側にラチェット挙動が発生する．

３．実験方法

軸方向変位と剪断変位を同時に作用させることのできる多軸負荷試験機を用いる．また，焼鈍しが施された円筒形状の試験片（タフピッチ銅）を採用する．

次に，予変形の実験条件は，単純剪断を剪断応力τ_{xy} = 164[MPa]，剪断変形量D_{12} = 0.53[-]（ストレッチ量 λ = 1.3[-]，偏差主歪 e_1 = 0.26 [-]）である．

次に，予変形後の実験条件は，以下の通りである．

（Ⅰ）上述の予変形後に剪断応力を τ^* = 0 [MPa]

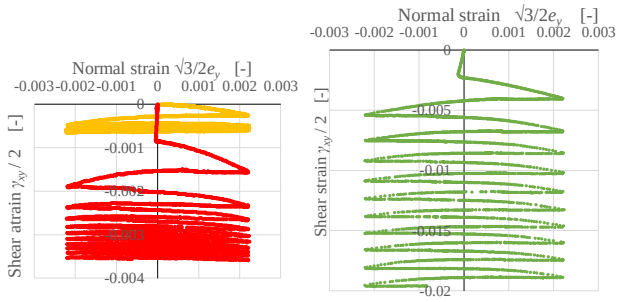
（Ⅱ）上述の予変形後に剪断応力をτ^* = －40 [MPa]

（Ⅲ）上述の予変形後に剪断応力をτ^* = －80 [MPa]

なお，全ての実験で繰り返し荷重時の歪幅は同一値（Δe_1 = 0.0044[-]）であり，繰り返し数は N=10 である．

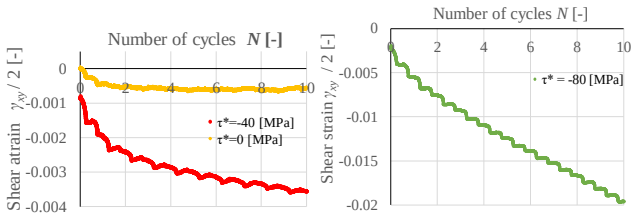
４．実験結果と考察

図３は，横軸に偏差垂直歪，縦軸に剪断歪をとり，繰り返し時の歪挙動を表した結果である．ここで，図３（a）の黄色のプロットが　τ^*= 0 [MPa]の結果，赤のプロットが　τ^*= －40 [MPa]の結果，そして図３（b）



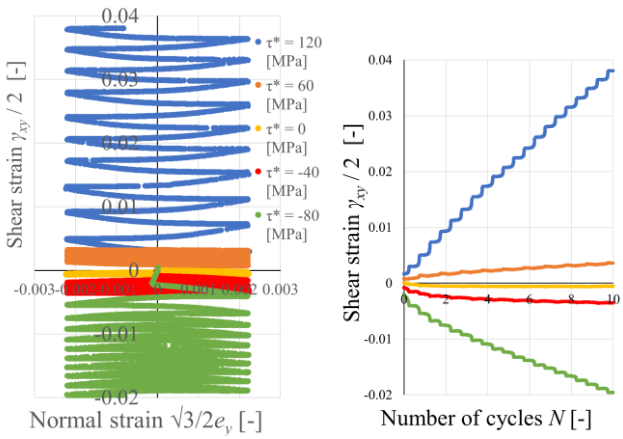
(a)　(b)

Fig.3. Mechanical ratcheting under cyclic tension-compression



(a)　(b)

Fig.4. Strain behavior with the number of cycles



(a)　(b)

Fig.5. Mechanical ratcheting phenomena for various dead loads

が　τ^*= －80 [MPa]の結果をそれぞれ表している．剪断のデッドロードの値が　τ^*= 0 [MPa]　の結果は，剪断歪は僅かにマイナス側に増加し，捩り戻しが僅かに発生していることが確認できる．これに対して，剪断のデッドロードの値が　τ^*= －40　の場合では，剪断歪は更にマイナス側に増加し，図３(b)　の，τ^*= －80 [MPa]では，サイクル数の増加と共に剪断歪は更に大きくマイナス側に発生していることから，　τ^*の値をマイナス側に大きく与える程，サイクル数の増加と共に剪断歪はマイナス側に増加する傾向が強く表れていることが確認できる．なお，図４は，これらの条件に対して，サイクル数 N と剪断歪γ_{xy} の関係を示したものである．

最後に，予変形時に異方性が発達する順方向剪断側にデッドロードを与えた（τ^*= 60, 120 [MPa]）結果と比較したものが図５である．順方向側にデッドロードを与えた場合には，順方向側の剪断のデッドロードの値が大きいτ^*= 120 [MPa]では，ラチェットのピッチが大きくなるため，剪断歪は繰り返し数の増加に伴いプラス側に大きく増加する傾向となることが確認できる．

５．結　言

剪断の予変形後に逆剪断のデッドロードを与えてラチェット挙動を調査し，以下のことが明らかとなった．

(1)　剪断のデッドロードをマイナス側に与えた本実験の結果は，デッドロードをプラス側に与えた前報までにの実験結果に比べて，ラチェット挙動が逆向きに表れる．

(2)　また，剪断のデッドロードをマイナス側に大きく与える程，サイクル数に伴う逆剪断側にラチェット挙動が大き表れる．

(3)　今後の課題として，単純剪断の予変形量を更に大きく与えることで，異方性発達が，ラチェット挙動に及ぼす影響を更に調査して行く予定である．