

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03785

研究課題名（和文）新たな成形性向上指針の為の非単調負荷時の高ひずみ領域の流動応力モデル

研究課題名（英文）Flow stress modelling in large strain region during non-monotonic loading for new guideline to improve formability

研究代表者

上島 伸文（Ueshima, Nobufumi）

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：10733131

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：アルミニウムの圧縮における非単調負荷の流動応力に及ぼす影響を調べた。その結果、円柱状試験片の場合は、顕著な差が見られないことが分かった。次に、より均一に、また応力状態を変化させずに高ひずみを付加する為に、チャンネルダイ圧縮試験を行った。その結果、小型のチャンネルダイではひずみ1以下で摩擦やバリの影響が大きくなり、流動応力の測定が難しくなる一方で、大型のチャンネルダイを用いればひずみ1を超える領域まで測定が可能であることが分かった。これらの結果から、今後高ひずみ域における非単調負荷の影響を調査することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

引張では見られた流動応力の負荷方法依存性が円柱圧縮では見られなかったことから、通常のスエ込みでは、応力緩和による影響は考えなくてよいことが明らかとなった点が、学術的に意義があると考えられる。また、応力状態を保ったまま高ひずみ域まで流動応力を取得できる方法を開発した点は、社会的に意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The influence of the non-monotonic loading on the flow stress of aluminum has been investigated by compression testing. We found that there are no detectable difference between monotonic and non-monotonic loading. Next, channel die compression has been carried out to compress the specimen uniformly and with keeping stress state unchanged. We found that the strain larger than 1 cannot be achieved by small die due to friction and burrs. On the contrary, the strain larger than 1 has been achieved by large die. These achievement enabled us to investigate flow stress during non-monotonic loading at large strain region.

研究分野：塑性加工学

キーワード：流動応力 非単調負荷

1. 研究開始当初の背景

近年のサーボプレス機の発展により、鍛造金型の精密な位置制御が可能となったことから、モーション制御による成形性向上が精力的に研究されている。成形性向上の原因として、いくつかのメカニズムが挙げられ活発な議論がなされているが、材料屋の観点からは応力緩和によるひずみの均一化に興味を持たれる。今まで申請者を含め非単調負荷引張試験で負荷パターンと伸びの関係が調べられて来たが、高ひずみ領域が測定されていない。鍛造予測には高ひずみ領域の情報が必要であることから、非単調圧縮試験により高ひずみ領域での応力ひずみ曲線の負荷パターン依存性を明らかにし、そのモデル化を行う。本研究により確立される流動応力モデルを元に三次元局所分岐理論を用いて加工性の向上を評価し、実験と比較することにより、負荷パターンの適切な選択による加工性向上を予測できるモデルを提案することが当初の目的であった。

2. 研究の目的

本研究課題の申請時における当初の研究目的は以下の通りである。

- (1) 高ひずみ領域で変位保持や除荷を途中で挟んだ場合の応力ひずみ関係の変化の調査
- (2) 変位保持や除荷を挟んだ場合の高ひずみ領域での応力ひずみ関係の変化のモデル化
- (3) 応力ひずみ関係の変化から成形性向上が説明可能か否か検討する

3. 研究の方法

- (1) 高ひずみ領域で変位保持や除荷を途中で挟んだ場合の応力ひずみ関係の変化の調査
円柱状圧縮試験を行い、変位保持や除荷を途中で挟んだ場合の応力ひずみ関係の変化を調査した。その結果、大きな違いが見られなかったことから、応力状態を保ったまま高ひずみを実現するための手法として、チャンネルダイ圧縮試験に取り組んだ。まずは50tクラスの万能試験機で実施可能な小型の圧縮試験を行った。しかしながら、ひずみ1に達する前に摩擦やバリの影響が出たことから、200tのプレス機で実施可能な大型のチャンネルダイ圧縮試験に取り組んだ。
- (2) 変位保持や除荷を挟んだ場合の高ひずみ領域での応力ひずみ関係の変化のモデル化については、申請者が2019年に報告しているモデルを発展させて用いる予定であったが、負荷方法による違いが見られなかった為、取り組んでいない。
- (3) 応力ひずみ関係の変化から成形性向上が説明可能か否か検討する については、三次元局所分岐理論を用いて、割れの予測を行う予定であったが、こちらも負荷方法による違いが見られなかったことから、取り組んでいない。

4. 研究成果

(1) 円柱状圧縮試験

A1070B の円柱状圧縮試験結果

圧縮試験により得られた応力ひずみ曲線を図1および図2に示す。図1が途中で変位保持を挟んだ場合、図2が除荷を挟んだ場合である。いずれの場合も、負荷条件による差は同じ条件下で試験を実施した際のばらつき未満であり、負荷条件による差は見られなかった。

JFE-HA590R の圧縮試験結果

圧縮試験により得られた応力ひずみ曲線を図3および図4に示す。図3が途中で変位保持を挟んだ場合、図4が除荷を挟んだ場合である。いずれの場合も、負荷条件による差は同じ条件下で試験を実施した際のばらつき未満であり、負荷条件による差は見られなかった。

そこで、より応力緩和が大きいと思われる高ひずみ域で保持する圧縮試験を実施した。その結果を図5に示す。この場合でも、負荷条件により試験毎のばらつき以上の差は見られなかった。

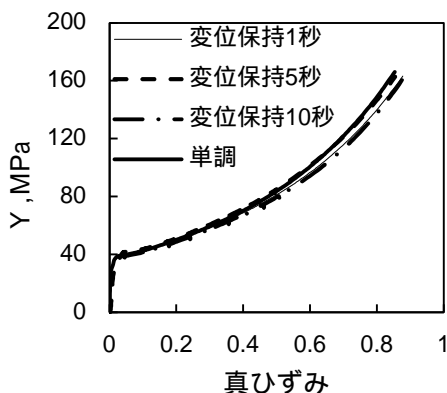


図1 A1070B の円柱圧縮試験における応力ひずみ曲線。途中で変位保持を挟んだ場合と、単調圧縮試験の比較。

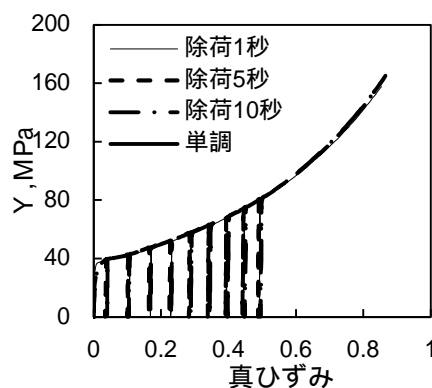


図2 A1070B の円柱圧縮試験における応力ひずみ曲線。途中で除荷後保持を挟んだ場合と、単調圧縮試験の比較。

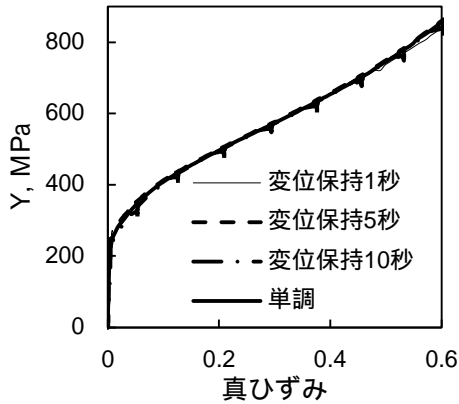


図3 JFE-HA590R の円柱圧縮試験における応力ひずみ曲線．途中で変位保持を挟んだ場合と，単調圧縮試験の比較．

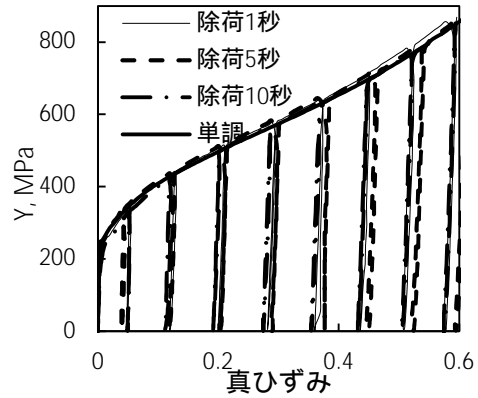


図4 JFE-HA590R の円柱圧縮試験における応力ひずみ曲線．途中で除荷後保持を挟んだ場合と，単調圧縮試験の比較．

応力緩和挙動

真ひずみ 0.1 と 0.8 のときの変位保持時の応力緩和挙動を図 6 に示した．図 6(a) に示した JFE-HA590R では，10 秒保持後に相当ひずみ 0.1 のとき応力が約 8 MPa 緩和，0.8 のとき約 15 MPa 緩和した．図 6(b) に示した A1070B では，真ひずみ 0.1 のとき応力が約 1.2 MPa 緩和，0.8 のとき約 2.5 MPa 緩和した．これらはいずれも引張試験で見られた応力緩和の五分の一程度であり，応力緩和量が小さい為に引張とは異なり変化が見られなかったものと考えられる．潤滑無し円柱状圧縮試験の為，ひずみが不均一に分布したことが原因として考えられる．有限要素法を用いた逆解析や，応力状態を均一にできるような他の試験法を検討する必要がある．そこで，次節に述べるチャンネルダイ圧縮試験を行った．

また，この円柱状圧縮試験の結果から，この条件のすえ込みについては，応力緩和の影響は無視できることが明らかとなった．

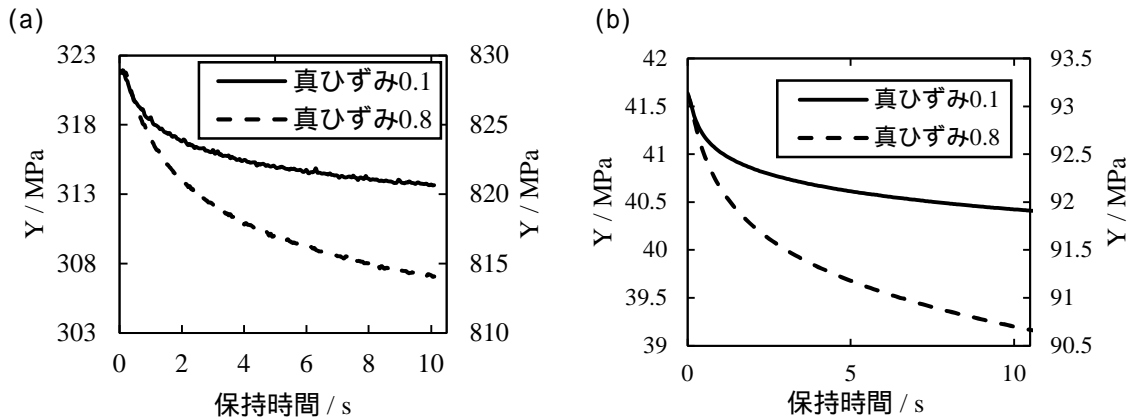


図6 真ひずみ 0.1, 0.8 における応力緩和挙動(a)JFE-HA590R, (b)A1070B

(2) チャンネルダイ圧縮試験

平均面圧 圧下率曲線

24mm 幅のチャンネルダイ圧縮試験により得られた，平均面圧 - 圧下率曲線を図 7 に示す．途中で中断した試験がおおよそ重なっていることが分かる．また，圧下率 0.6 を超えるあたりまでは，平均面圧の急激な上昇が見られないことが分かる．一方で，比較の為に実施した，3mm 幅のチャンネルダイ圧縮試験の結果を図 8 に示す．こちらの結果では，圧下率 0.5 程度から平均面圧の急激な上昇が始まっていることが分かる．途中で試験を中断した際の試料の状態から，試料に生じたバリにより荷重が上昇したことが原因と考えられる．24mm 幅のチャンネルダイ圧縮試験でもバリは生じていたが，体積に対する表面の影響が小さいために平均面圧に大きな影響が生じなかったものと考えられる．

逆解析との比較

図 7 のデータを用いて，有限要素法を用いた流動応力の逆解析を行った．図 9 に荷重変位曲線の逆解析結果と実験結果の比較を示す．初期の荷重は誤差が大きいことから，10t 以上の荷重となった変位以降を逆解析に用いている．図からほぼ実験荷重と逆解析結果が一致していることが分かる．

図 10 に逆解析により得られた流動応力と(a)引張試験の結果，(b)平面応力状態を仮定して

計算した相当応力の比較を示す。引張試験との比較では、いずれもほぼ一致している。引張試験との比較により、逆解析によって得られた流動応力は妥当であると言える。また、平面応力状態を仮定した場合の相当応力ともほぼ一致したことから、逆解析を用いずに平面ひずみ状態とみなして相当応力を算出できることが分かる。応力状態を保ったまま、高ひずみ域まで流動応力を取得できていると考えられる。

以上の結果から、応力状態を保ったまま高ひずみ域まで流動応力を取得する方法が確立され、今後、この手法を用いて、負荷方法依存性について調査が可能となったといえる。

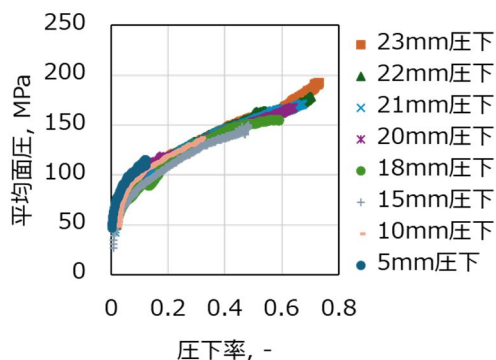


図7 幅24 mm チャンネルダイ圧縮試験の平均面圧 - 圧下率曲線。

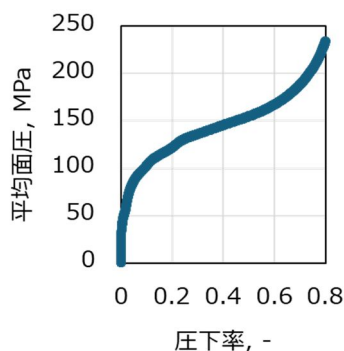


図8 幅3 mm チャンネルダイ圧縮試験の平均面圧 - 圧下率曲線。

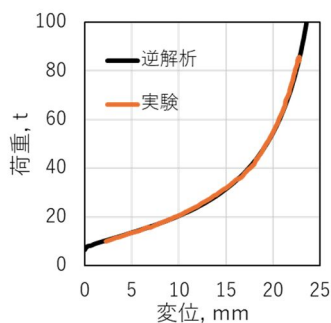


図9 荷重変位曲線の逆解析結果と実験結果の比較。

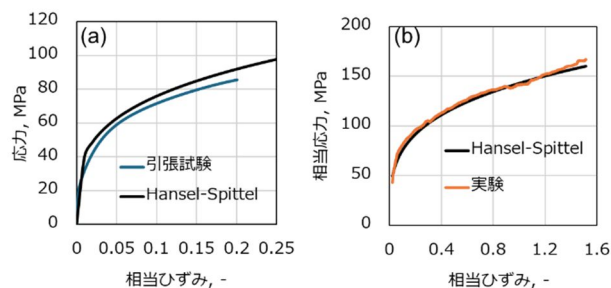


図10 逆解析により得られた流動応力と (a)引張試験、(b)平面応力状態を仮定して計算した相当応力の比較。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 上島伸文、村田理佳、及川勝成	4. 巻 なし
2. 論文標題 大型のチャンネルダイ圧縮試験を用いた高ひずみ域の流動応力測定	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 2024年度塑性加工春季講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 51-52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 上島伸文、小里文太、及川勝成	4. 巻 なし
2. 論文標題 円柱圧縮試験による非単調負荷時の高ひずみ域の流動応力測定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022年度塑性加工春季講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 181-182
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 上島伸文、村田理佳、及川勝成
2. 発表標題 大型のチャンネルダイ圧縮試験を用いた高ひずみ域の流動応力測定
3. 学会等名 2024年度塑性加工春季講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 上島伸文、小里文太、及川勝成
2. 発表標題 円柱圧縮試験による非単調負荷時の高ひずみ域の流動応力測定
3. 学会等名 2022年度塑性加工春季講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究代表者の個人ページ
<http://www.material.tohoku.ac.jp/~koso/ueshima/index.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------