

アルミニウム合金押し出し型材のダイ無しせん断加工

高辻則夫* 時澤 貢**

1. はじめに

建材として使用されるA6063アルミニウム合金押し出し型材は、用途に応じて様々な断面形状をしており、アルミサッシやドアなどに組み立てるためには、その長手方向の端部ならびに中間部に切欠きや穴明け加工などのせん断加工が施され、その寸法も多岐にわたる。ところが、押し出し型材は製品としては多品種少量生産に属するため、精密せん断法のような特殊な加工法は、プレス機の構造や機構の変更、場合によっては加工における工程数の増加など理由から押し出し型材のせん断加工には不適である。

そこで、押し出し型材のせん断加工には、簡易金型と呼ばれる基本的に2本のガイドポストを有した簡易構造をもつ単能金型が用いられているが、低コスト化、作業性向上のための軽量化などによって精度や剛性に問題がある。また、加工条件についても金型設計で設計者が経験的に決定するなど、形状性向上に関して技術的に検討されていないのが現状である。

従って、簡易金型を用いた押し出し型材のせん断加工において、金型ダイセットやパンチ、そして押し出し型材が加工中にどのような動的挙動をとり、それが押し出し型材の形状性にどのように影響を及ぼすかを解明することは生産性の向上等を図る上で非常に重要である。

本研究では、T型の断面形状をもつ押し出し型材のせん断を、高速度カメラを用いて、座屈による押し出し型材の断面形状変化現象を可視化することを試みた。また、押し出し型材の座屈限界と断面形状変化との関連性を検討することによって、フラットパンチを用いたダイ無しせん断において、建材として良好な断面形状性が得られる加工限界を求めることを目的とした。

なお、せん断はT型押し出し型材の長手方向端部における横方向のリブに対して、一辺をダイ無し、他辺をダイ有りとしたL字型せん断を対象にした。

また、金型設計において、汎用押し出し型材の座屈限界を容易に求める手法として、可視化した映像より明らかになったねじれを伴う座屈に対して、押し出し型材矩形部の簡易モデルを作成し、これより矩形部の座屈限界を求

めた。そして、理論的に求めたフラットパンチの加工限界と実験から得られた加工限界とを照合し、その対応性を検討した。

2. 実験および評価方法

2.1 ダイ無しせん断加工実験方法

図1は、本実験で用いたダイ無しせん断加工用簡易金型における押し出し型材の加工部周辺の概略である。押し出し型材のせん断加工部は図中斜線で示したリブ部で、押し出し型材長手方向のリブ付け根部がダイ無し、リブ幅方向がダイ有りのL字型（図中加工部太線相当）である。

また、押し出し型材表面には陽極酸化処理によって着色を施してあるため、加工中この着色表面に傷が付かないように押し出し型材から0.3mmの隙間を設けた位置に挿入ガイドを設置した。従って、押し出し型材は完全に拘束されているわけではなく、単純支持状態にある。

なお、L字型せん断のうちダイ無し部は、0～0.2mmのクリアランス、ダイ有り部はパンチの動的挙動を考慮してリブ部板厚の10%とした。

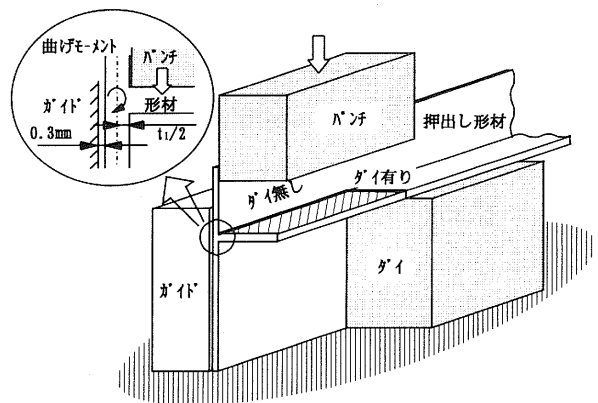


図1 T型押し出し型材のダイ無しせん断加工部周辺

実験は、まず、実験条件である押し出し型材の寸法に対して、フラットパンチを用いて加工した後の押し出し型材の座屈による断面形状変化の有無を確認し、座屈を生じない加工限界曲線を求めた。また、パンチストロークをダイプレートに固定した非接触型変位センサーで、加工に要した荷重を金型上部に設置したロードセルで計測し、

パンチストローク加工荷重曲線と断面形状変化の可視化映像とを対応させ、ダイ無しせん断の加工形態および座屈による押し出し材の断面形状変化の発生形態を検討した。

2.2 押し出し材の形状と寸法

図2は、本実験に使用したT型押し出し材で、その断面形状と寸法およびL字型せん断形状を表す。本実験は、T型押し出し材の寸法に対するフラットパンチの加工限界を求めるために、縦・横方向の板厚比 $i=t_2/t_1$ 、図2中の斜線部の矩形部 ($a \times b$) の寸法比 a/b を実験条件として、この矩形部の座屈限界と断面形状変化との関連性を検討した。表1および表2は、それぞれ本研究の実験条件であるT型押し出し材の寸法の詳細である。

押し出し材の断面形状変化の発生に影響する、板厚 t_1 で決まる矩形部の座屈限界と板厚 t_2 で決まるせん断荷重との大小関係を広範囲にわたって検討するために、板厚比 $i=t_2/t_1$ を $0.5 \sim 3.0$ に設定した。

また、矩形部寸法比 a/b に関しては、せん断長さ b を固定して矩形高さ a を変化させたとき ($a < b$)、矩形高さ a を固定してせん断長さ b を変化させたとき ($a > b$) に分け、座屈による断面形状変化に対する矩形高さ a とせん断長さ b の影響を検討した。

2.3 押し出し材の形状性の評価方法

図3は、T型押し出し材のダイ無しせん断加工において、断面形状変化の対象となる観察箇所であり、本研究では断面A部における断面形状性についてのみ検討した。

断面A部における形状性に関しては、押し出し材縦方向の加工前後の相対たわみをマイクログラフを用いて測定し、その値が JIS H4100 (アルミニウムおよびアルミニウム合金押し出し材の断面寸法許容差) の特殊級に準じ、かつ建材としての用途に対応させた $\pm 0.2\text{mm}$ 以下であれば、断面形状変化は無しと判断した。

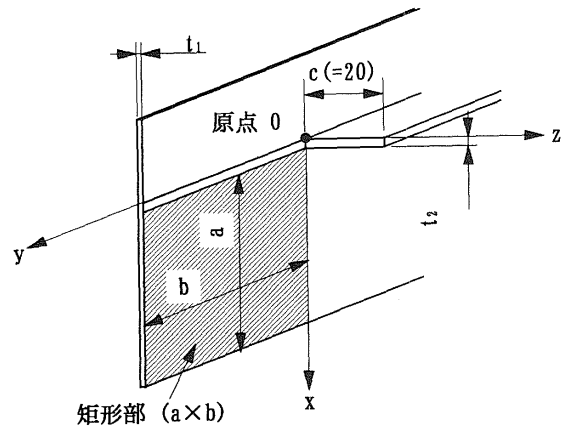


図2 実験用押し出し材の寸法

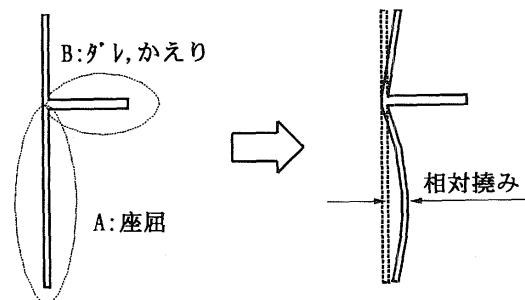


図3 断面形状性の評価項目

表1 T型押し出し材の板厚

| | | 押し出し材 No. | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-----------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 板厚 /mm | t_1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| | t_2 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 1.5 | 3.0 |
| 板厚比 $i=t_2/t_1$ | | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 0.67 | 1.33 | 2.0 | 0.5 | 0.75 | 1.5 |

表2 矩形部寸法

| | | | | | | | | |
|--------|------|------------------|-----|-------|------------------|------|-----|-----|
| 矩形高さ | a/mm | 20 | 35 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| せん断長さ | b/mm | 50 | 50 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
| 矩形部寸法比 | a/b | 0.4 | 0.7 | 1.0 | 1.25 | 1.67 | 2.5 | 5.0 |
| | | b=一定 ($a < b$) | | (a=b) | a=一定 ($a > b$) | | | |

3. 実験結果および検討

3.1 フラットパンチを用いた加工限界の検討

図4は、矩形部寸法比 $a/b=1.0$ 一定で板厚 t_1 および t_2 が押し出し形材矩形部の座屈限界に及ぼす影響を表したフラットパンチの加工限界曲線である。また、図5は、板厚比 $i=t_2/t_1$ 、矩形部寸法比 a/b の影響を表す同様の加工限界曲線である。位置する実験条件下 (●印) では、座屈による断面形状変化は生じなかったことを表す。

図4より、押し出し形材の縦方向の板厚 t_1 が大きいほど、断面形状変化が生じないリブの板厚 t_2 の許容範囲が広がっており、ダイ無しせん断加工において板厚 t_1 が矩形部の座屈限界を決める重要な要素の一つであることが明らかである。これは、板厚 t_1 が押し出し形材矩形部の曲げ剛性、ひいては座屈荷重を決める要素の一つであり、この座屈荷重とせん断荷重との大小関係が押し出し形材の断面形状変化の有無に大きく影響するためである。

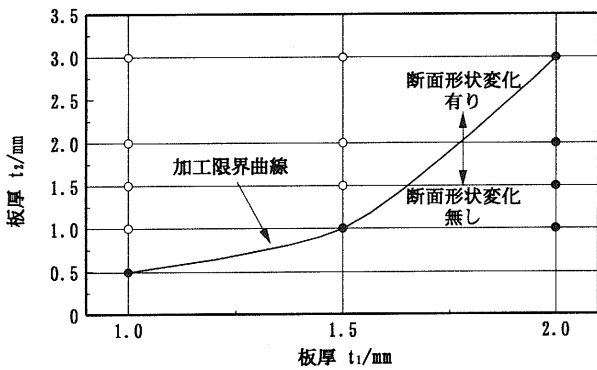


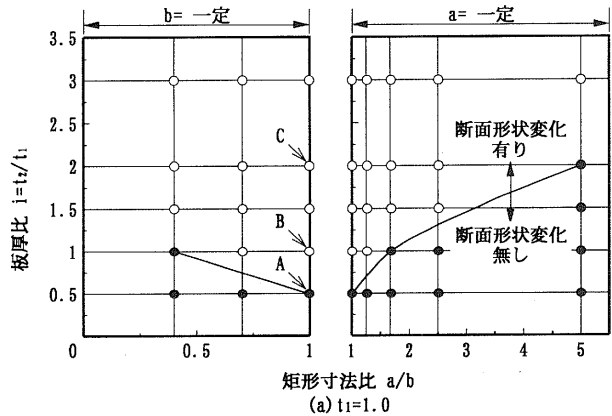
図4 フラットパンチの加工限界に及ぼす板厚の影響 ($a/b=1.0$ 一定)

図5(c)より、本実験条件の範囲内では縦方向の板厚 $t_1=2.0$ の押し出し形材 (No.9~11 相当) は、フラットパンチを用いても全て断面形状変化は生じなかった。これは、押し出し形材矩形部の座屈荷重に対してせん断荷重が下まわったためであることは明らかである。これに対して、図5(a), (b)に示す板厚 $t_1=1.0, 1.5$ の押し出し形材は、ともに加工限界曲線が矩形部寸法比 $a/b=1.0$ で最小になる傾向にある。以上の結果は、以下の要因が影響しているためである。

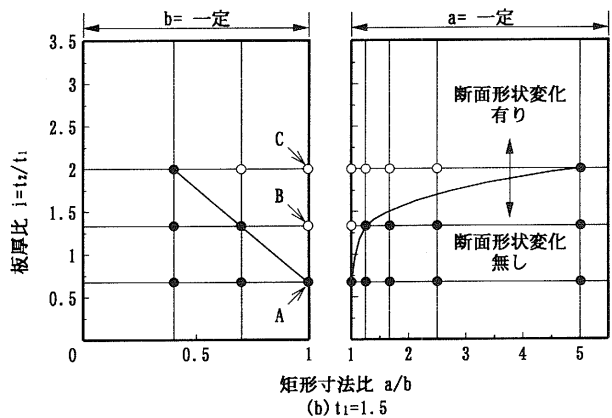
1) 図4より、押し出し形材の縦方向の板厚 t_1 が大きいほど押し出し形材矩形部の座屈限界は向上し、フラットパンチを用いた加工限界曲線の勾配は増大する傾向にある。

さらに、矩形部の座屈限界は、矩形部寸法比 a/b にも影響され、 $a/b < 1.0$ (b = 一定) および $a/b > 1.0$ (a = 一定) が顕著なほど、このような傾向が強い。

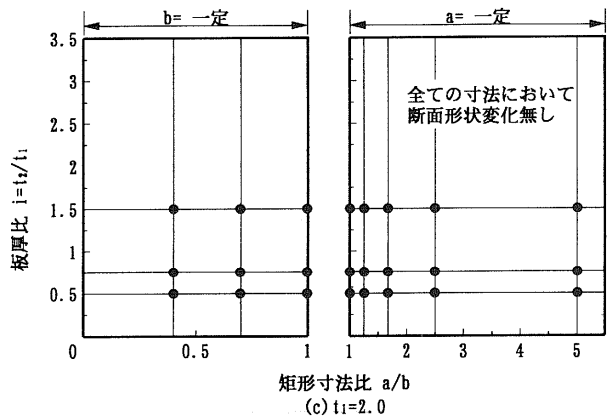
2) $a/b < 1.0$, すなわち、せん断長さ b = 一定に対して、矩形高さ a を徐々に小さくすると、その度合いが顕著なほどせん断荷重による圧縮作用に対する矩形部の剛性が增大する。従って、押し出し形材矩形部の変形は弾性範囲内に収まり、塑性座屈は生じにくくなる。



矩形寸法比 a/b
(a) $t_1=1.0$



矩形寸法比 a/b
(b) $t_1=1.5$



矩形寸法比 a/b
(c) $t_1=2.0$

図5 T型押し出し形材の寸法を変えたフラットパンチの加工限界曲線

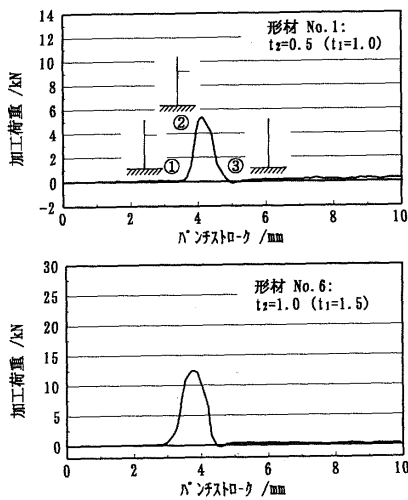
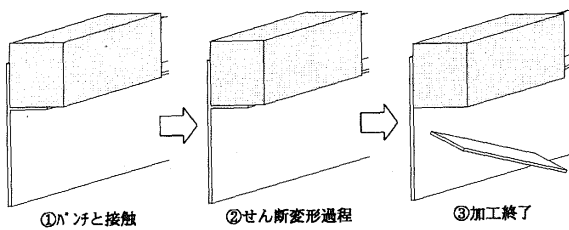
3) $a/b > 1.0$, すなわち, 矩形高さ a = 一定に対して, せん断長さ b を徐々に小さくすると, その度合いが顕著なほどせん断荷重の減少に伴い矩形部に作用する圧縮力も減少し, さらに図2に示した矩形部の固定辺 $y=0$ から自由辺 $y=b$ への変形に対する拘束力が增大するため, これに伴って矩形部の剛性が増大し座屈しにくくなる.

以上より, 押し出し材のダイ無しを含むせん断加工において, 板厚 t_1 および矩形部寸法比 a/b が押し出し材矩形部の座屈限界を決めることは明らかであり, これらの板厚比 $i = t_2/t_1$, 矩形部寸法比 a/b が断面形状変化に及ぼす影響を解明することによって, フラットパンチの加工限界を求めることができる.

3.2 荷重曲線からみた座屈発生形態の検討

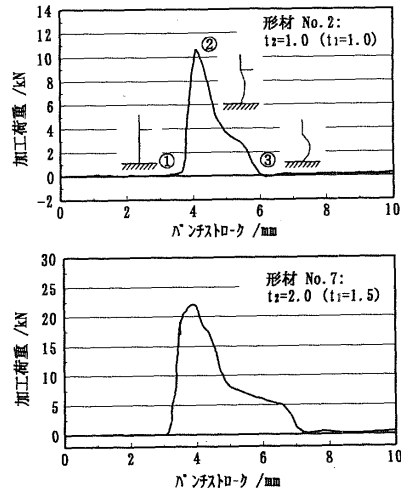
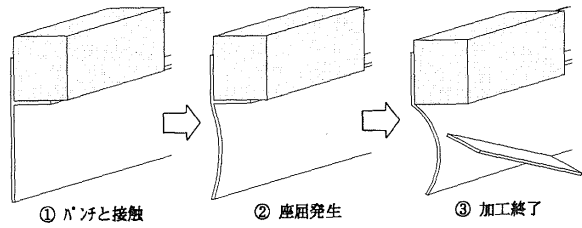
押し出し材の断面形状変化の形態は, 図5中のA, B, Cに相当する, 以下の3パターンに分類できる.

- A: 断面形状変化が不発生, ダイ無しせん断が可能
- B: 断面形状変化が発生, ダイ無しせん断が可能
- C: 断面形状変化が発生, ダイ無しせん断は不可能



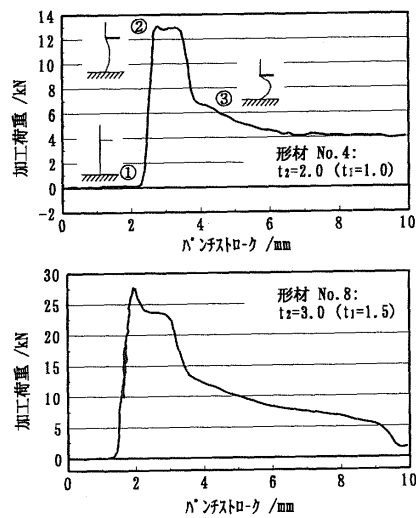
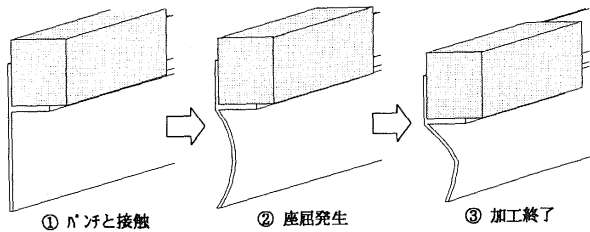
パターン A: せん断可能で断面形状変化を伴わない

図6 断面形状変化の模写とパンチストローク-荷重曲線 (パターンA)



パターン B: せん断可能で断面形状変化を伴う

図7 断面形状変化の模写とパンチストローク-荷重曲線 (パターンB)



パターン C: せん断不可能で断面形状変化を伴う

図8 断面形状変化の模写とパンチストローク-荷重曲線 (パターンC)

図6～図8は、それぞれ一辺がダイ無しを含めたせん断加工中の押し出し材の断面形状変化と加工荷重曲線とを上記3パターンに対応させた高速度カメラ映像の模写図とパンチストローク加工荷重曲線の一例である。なお、これら3パターンに対して、それぞれ断面形状変化は勿論のこと、パンチストローク加工荷重曲線は押し出し材の寸法を変えても同様の傾向となった。

図6より、パターンAは、断面形状変化を伴わないため、加工荷重はほぼ全てL字型せん断に要した荷重であるといえる。

これに対して、図7のパターンBは、ダイ無しせん断加工は可能であったにもかかわらず断面形状変化を伴っているため、加工荷重曲線の軌跡は明らかにパターンAのそれとは異なることがわかる。ここで、パターンBにおいて加工荷重曲線と高速度カメラ映像とを照らし合わせてみると、①パンチと接触後、押し出し材のリブをせん断しようと加工荷重は急激に増大し、②最大加工荷重に達した直後、押し出し材矩形部の座屈限界を越えたことによって断面形状変化が生じ、③その後パンチの降下に従って塑性座屈による矩形部の曲げが促進される。つまり、パターンBの荷重曲線は、この③の現象が含まれることによってパターンAの荷重曲線とは明らかに軌跡が異なる。

なお、図8のパターンCは、リブ幅cのダイ有りせん断のみ行われ、ダイ無しせん断を行うせん断長さbにおける最大せん断荷重に達する前に座屈による断面形状変化が生ずる(図中②相当)。その後、パンチの降下に従って塑性座屈による矩形部の曲げが促進されるが、リブ部は残るためパターンBに対して③部の曲げに要した荷重曲線の軌跡が顕著に現れたと考えられる。

3.3 座屈荷重からみた加工限界の検討

ト型押し出し材のダイ無しを含むせん断加工実験において、押し出し材の寸法を変えた矩形部の座屈限界を検討することによって、座屈による断面形状変化を生じないフラットパンチの加工限界を求めることができた。この矩形部に生ずる座屈は、座屈荷重とパンチからのせん断荷重との大小関係に大きく影響することは先に述べたが、本実験によって求めたフラットパンチの加工限界が

他の異形押し出し材に対して適用できるかといえば、必ずしもそうではない。なぜなら、前述の通り、押し出し材はその断面形状が多様であり、かつ加工寸法も広範囲にわたるためである。しかし、金型設計において、押し出し材の座屈限界を何らかの方法で明確にすることができないと、金型設計において座屈による断面形状変化を生じさせない加工条件を決定することができない。そこで、様々な断面形状および広範囲な加工寸法に対応できるように押し出し材矩形部の座屈限界を求める方法の確立が必要になる。

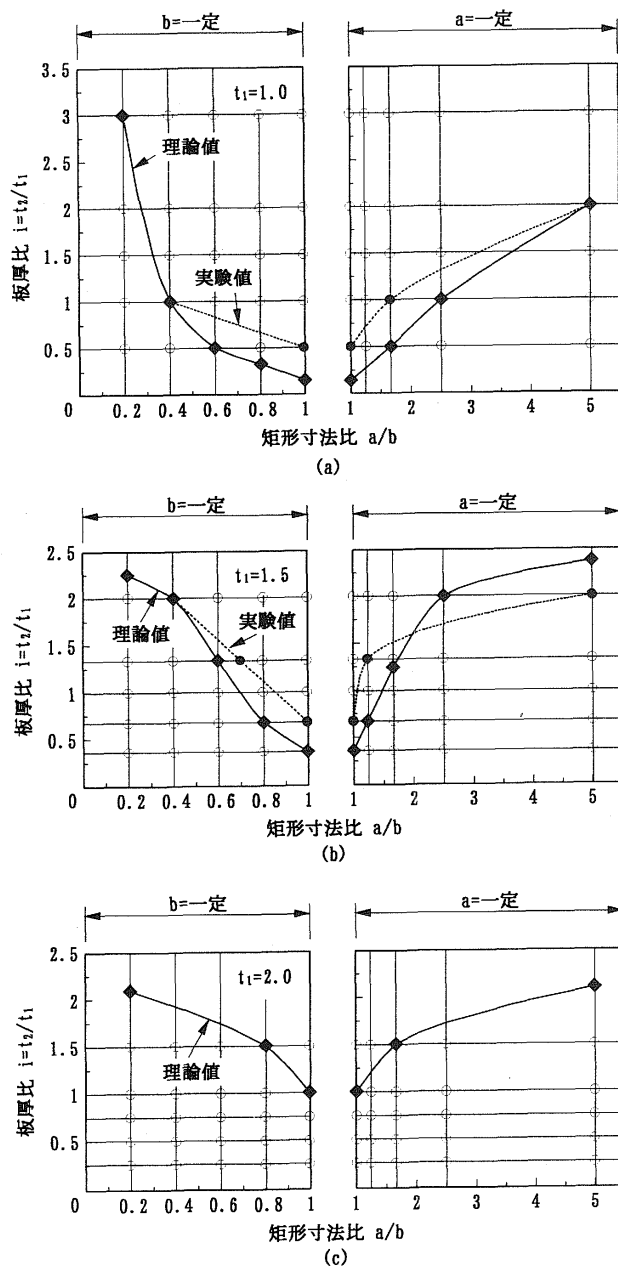


図9 フラットパンチを用いた理論的加工限界曲線

本研究では、座屈限界を求める1つの手法として、T型押し形材の矩形部を簡単な矩形薄板と仮定し、実際の押し形材矩形部の周辺条件と同様の条件において、この矩形薄板の座屈限界を理論的に算出することを試みた。さらに、L字型せん断におけるせん断荷重も理論的に算出し、このせん断荷重と座屈限界とを照合し、大小関係を検討することによって理論的なフラットパンチの加工限界曲線を作成し、実験結果と比較・検討した。

図9は、せん断荷重の理論計算値と算出した座屈荷重との大小関係より、各板厚 t_1 における理論的に求めたフラットパンチの加工限界曲線である。ここで、図中実線で示した加工限界曲線は理論的に求めたもの、破線で示した曲線は実験より得られた結果である。

図9(c)より、実験においては、縦方向の板厚 $t_1=2.0$ のT型押し形材は、座屈による矩形部の断面形状変化が生じなかったのに対して、理論的に求めたフラットパンチの加工限界曲線では、矩形部寸法比 a/b が $0.8\sim 1.67$ の範囲で座屈が生ずる結果となり、全体的に加工限界は低い結果が得られた。

また、(a)、(b)の板厚 $t_1=1.0, 1.5$ の矩形部においても実験から得られた加工限界に比べて、理論的に求めた加

工限界の方が全体的に低い傾向にあるものの、基本的に実験より求めた加工限界曲線と同様の傾向をもつことが明らかとなった。

4. 結 言

簡易金型を用いたT型押し形材のダイ無しせん断加工において、押し形材の座屈限界とフラットパンチを用いた矩形部の断面形状変化との関連性について検討した。また、汎用押し形材の座屈限界を求める手法として、矩形部の理論モデルを作成し、実験結果との対応性を併せて検討した。その結果、押し形材のせん断加工における簡易金型設計の標準化に有益な知見を得ることができた。

参 考 文 献

- 1) 木田・高辻・時澤・室谷・松木・張：塑性と加工，37-427 (1996)，871.
- 2) 木田・高辻・時澤・室谷・松木：同上，37-430 (1996)，1187.
- 3) 木田・高辻・時澤・松木・室谷・筒口：同上，38-432 (1997)，87.