

UBETの応用に関する研究(第3報)

—接触圧力分布のシミュレーション—

Study on UBET (Upper Bound Elemental Technique) · 3rd Report

—Simulation of Contact Pressure on Tool Surface—

木内 学*・村田 良美*

Manabu KIUCHI and Yoshimi MURATA

1. 緒 言

筆者らはUBET(Upper Bound Elemental Technique)の応用に関する研究を進めており、その塑性加工における解析手法としての有効性について検討を加えている。第1報¹⁾で示したように軸対称問題においては加工荷重、材料の流動状態をUBETにより簡便に解析できることが判明している。また前報²⁾では上界法では直接に解析することが不可能な材料-工具間の接触圧力分布を間接的に求める手法として仮想要素法(Imaginary Element Method)を提案し、すえ込み、後方押し出しの接触圧力分布の解析を行った。その結果はSiebelのスラブ法による解とよく一致し、全体的に見てきわめて妥当なものであった。今回はこの仮想要素法をさらに拡張して後方押し出し、前後方押し出しの工具面接触圧力分布の解析を行い、その結果について考察を加えたのでここに報告する。

2. 解析方法

仮想要素法については前報で詳しく述べたのでここではその要点を述べるにとどめる。例として図1の後方押し出し解析モデルでポンチ-材料間の接触圧力を解析する場合を考える。接触圧力を検討しようとする工具の微小面を一つの構成面とする仮想要素 E^* を考える。ここで図1-(a)のように工具(ポンチ)が全体的に同一速度 \dot{U} で動く場合の変形状態および図1-(b)のように仮想要素 E^* と工具との間の微小面に微小相対速度 $\Delta\dot{U}$ の外乱が加わりこの部分のみ $\dot{U} + \Delta\dot{U}$ の速度、他の工具面は \dot{U} の速度で動く場合の変形状態をUBETを用いて解析し、おのおのの場合の全エネルギー消費率を \dot{W} , $\dot{\tilde{W}}$ とする。もし微小速度増分 $\Delta\dot{U}$ が加わった場合にも仮想要素 E^* の微小面に働く接触圧力 P^* が変化しないと仮定すると両者の全エネルギー消費率の差 $\Delta\dot{W}$ は接触圧力 P^* と微小速度増分 $\Delta\dot{U}$ によりなされた仕事増分に等しいと考えられるから次式が成立する。

$$\Delta\dot{W} = \dot{\tilde{W}} - \dot{W} = P^* \cdot S^* \cdot \Delta\dot{U} \quad (1)$$

ここで S^* は仮想要素 E^* と工具との間の微小面面積である。従って接触圧力 P^* は次式で求められる。

$$P^* = (\dot{\tilde{W}} - \dot{W}) / (S^* \cdot \Delta\dot{U}) \quad (2)$$

ただし $\dot{\tilde{W}}$ を求める際には仮想要素 E^* を考えることによって新たに生じるせん断面におけるせん断エネルギー消費率はないものとする。仮想要素法の詳細については前報を参照されたい。

3. 解析結果

3.1 後方押し出しの接触圧力分布

後方押し出しの接触圧力分布を解析する際の要素分割方法を図2に示す。仮想要素と工具との接触面に与える外乱 $\Delta\dot{U}$ の影響は工具面からビレットの一定の深さにおよぶものであり、その影響範囲内でのみビレットの流動状態が変化すると考えられる。従って外乱 $\Delta\dot{U}$ の影響範囲の深さをポンチ側、ダイス側について定め、その影響範囲外のビレットの流動状態は外乱 $\Delta\dot{U}$ を加えない場合の流れと変化しないものとして、一部の要素境界の速度を固定することによりビレットの流動状態に拘束を与えた。ポンチ側、ダイス側の影響範囲の深さ H_p , H_D には接触圧力分布の積分値と全エネルギー消費率から計算した全荷重とが等しくなる軸方向要素分割位置をポンチ側、ダイス側それぞれ独立に求めた(図3)。図4~図

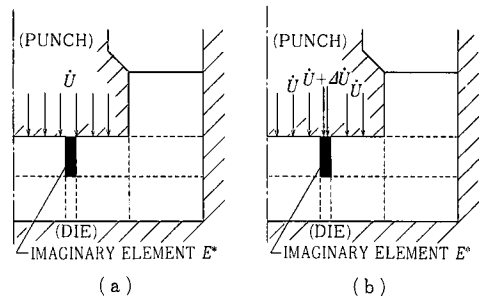


図1 接触圧力分布解析モデル(後方押し出し)

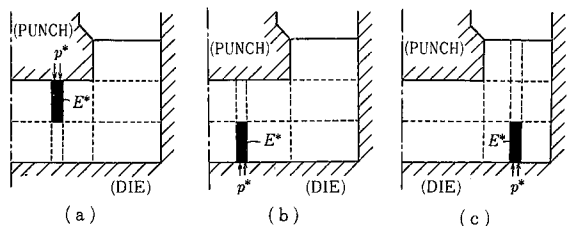


図2 要素分割方法(後方押し出し)

*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

6に解析結果を示す。解析の際の条件としてはリダクションは一定とし、ビレット高さを3通りに、また摩擦定数 $m = 0.0, 1.0$ の2通りに変化させた。ビレットの幾何学的形状、摩擦定数、および外乱の影響範囲の深さなどの値は図中に示した。

全般的な傾向として摩擦が大きい場合 ($m = 1.0$) ビレットの中心部に近づくほど接触圧力が上昇するいわゆるフリクション・ヒルを示す。この傾向はビレットの厚みが薄い場合ほど著しい。またダイス側接触圧力は中心からの距離 $r = r_p$ (ポンチ径) で不連続となるが、こ

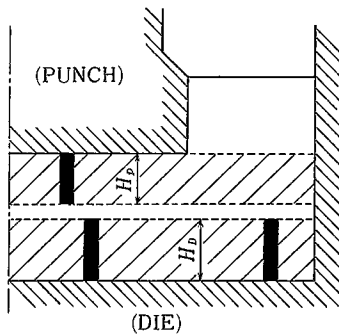


図3 接触圧力の影響範囲 (後方押し)

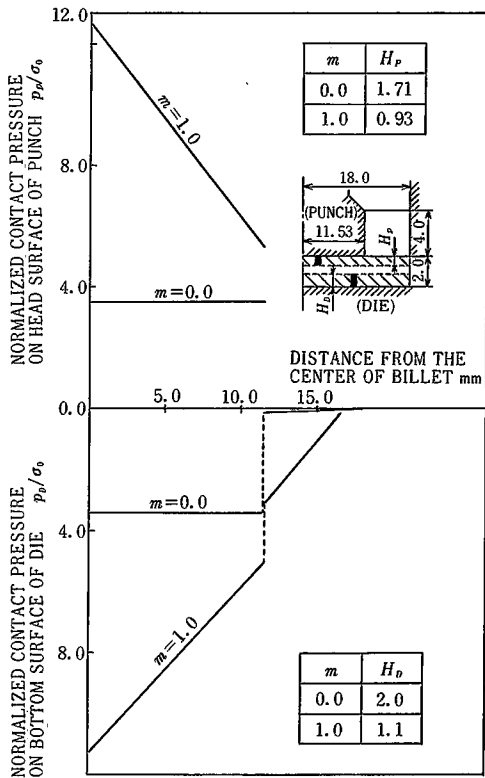


図4 後方押し時の接触圧力分布 ($H = 2.0$)

れは $r < r_p, r > r_p$ のそれぞれの範囲で異なる接触圧力解析用モデルを使用しているためである。摩擦定数 m

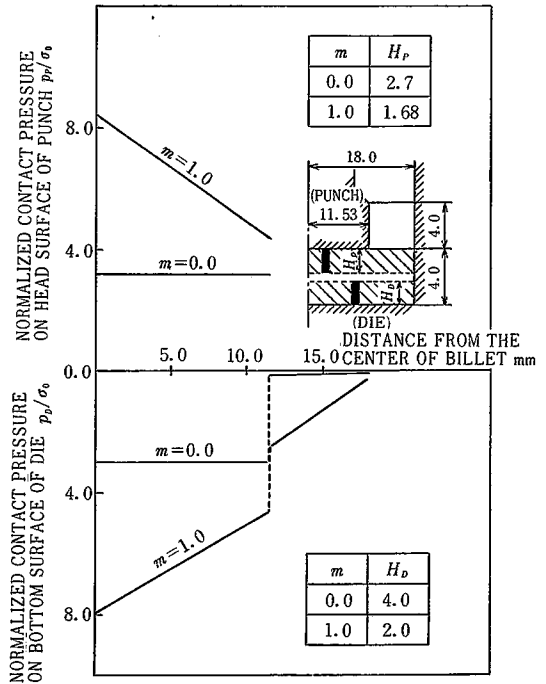


図5 後方押し時の接触圧力分布 ($H = 4.0$)

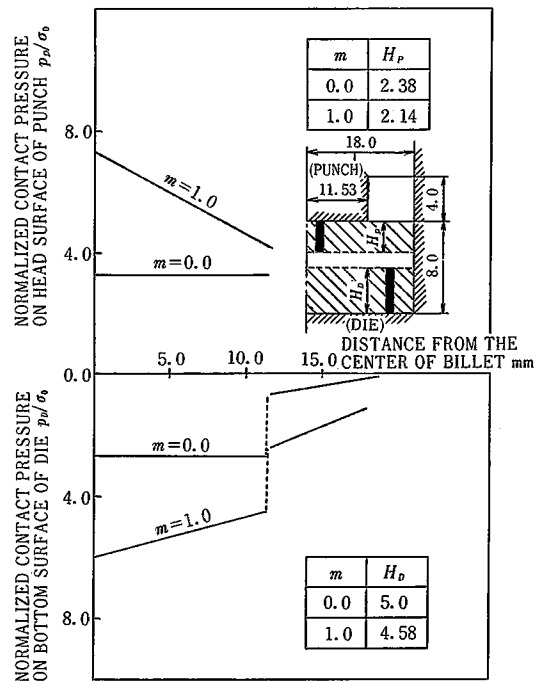


図6 後方押し時の接触圧力分布 ($H = 8.0$)

= 0.0 の場合フリクション・ヒルは形成されず一様な圧力分布となる。また外乱の影響範囲の深さをみると全般的に摩擦の影響が少ない時ほど影響範囲が深くなっている。これはダイス側壁部の摩擦の影響が小さくなるためであると考えられる。またダイス側の方がポンチ側に比べて影響範囲が広いが、これはポンチ側ではダイス側に比べて外乱 ΔU の影響による流動が半径方向に起こりやすいために影響範囲の深さが浅くなるものと考えられる。ピレットの厚みが大きい時および摩擦定数の値が大きい時にはポンチ側、ダイス側の影響範囲は重ならずピレット中央にどちらからも影響を受けない範囲が存在する。ピレットの厚みが小さくなり、摩擦定数の値が小さくなるとポンチ側、ダイス側の影響範囲は重複するようになり、特に $H = 2, 4, m = 0.0$ の場合のように影響範囲がポンチ底面まで達する場合がある。

3.2 前後方押し出しの接触圧力分布

前後方押し出しの接触圧力分布を解析する際の要素分割方法を図7に示す。前後方押し出しの場合も後方押し出しの場合と同様微小速度増分 ΔU の影響範囲を考慮する必要がある。前後方押し出しの場合さらに図8に示すようにピレットの内部に速度の中立点が存在する。従ってポンチ、ダイスの圧力分布を求める場合外乱の影響範囲は中立点内外で独立に考える必要がある。またそうして得られる接触圧力分布は速度の中立点位置で連続であると仮定した。以上の条件を満足する接触圧力分布でその積分値が全エネルギー消費率より求めた全荷重と等しいように影響範囲を定め、接触圧力分布を求めた。また外乱 ΔU の影響範囲外ではピレット

の流動状態は変化しないものとし、一部の要素境界における材料の流動速度を外乱を与えない時と同じにしたのも後方押し出しの場合と同様である。図9～図11に解析結果を示す。解析の際の条件としては前方、後方へのリダクションは一定とし、ピレット高さを3通りに、また摩擦定数 $m = 0.5, 1.0$ の2通りに変化した。ピレットの幾何学的形状、摩擦定数および外乱の影響範囲の深さなどの値は図中に示した。

全般的な傾向として圧力分布はどの場合にも速度中立点位置をピークとするフリクシ

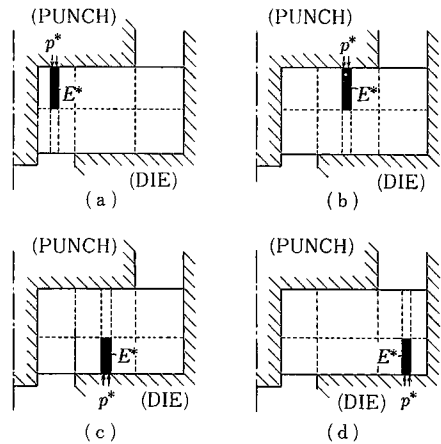


図7 要素分割方法 (前後方押し出し)

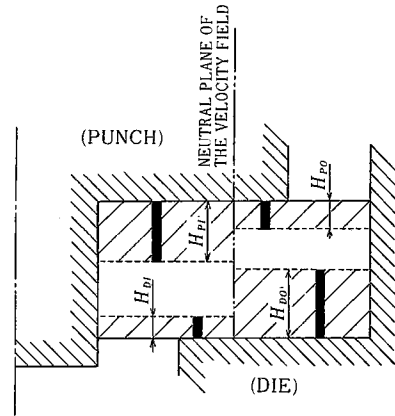


図8 接触圧力の影響範囲 (前後方押し出し)

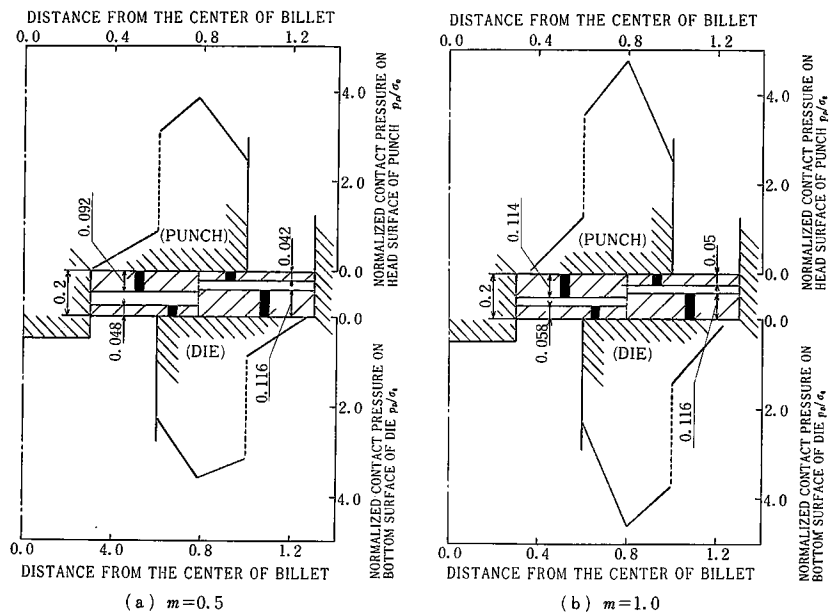


図9 前後方押し出しの接触圧力分布 ($H = 0.2$)

研究速報

ジョン・ヒルを形成している。同一の形状のビレットの場合摩擦が大きい方が、またビレットの厚みが薄いほどフリクション・ヒルの傾きは大きい。一方外乱 \dot{U} の影響範囲の深さについては速度中立点より内側のポンチ側影響範囲深さ H_{Pi} 、外側のダイス側影響範囲深さ H_{Do} は深いが中立点より内側のダイス側影響範囲深さ H_{Di} 、外側のポンチ側影響範囲深さ H_{Po} は非常に浅い。この理由としては中立点位置より内側のダイス近傍、および外側のポンチ近傍では外乱 \dot{U} の影響が半径方向に広がりやすいためにその影響範囲が軸方向に少ししか広がらないものと考えられる。

4. 結 言

仮要素法を用いて後方押し、前後方押し時の工具面接触圧力の解析を試みた。その結果後方押しでは微小速度増分の影響範囲をポンチ側、ダイス側それぞれ独立に考慮することにより、また前後方押しではビレットの流れの中立点位置を境界としてポンチ側、ダイス側の影響範囲を独立に考慮することにより全エネルギー消費率から求めた全荷重と一致する接触圧力分布が求められた。これらの結果は定性的に見てほぼ妥当な値と考えられ、仮要素法により工具面接触圧力分布を求めることの有効性が確かめられた。

(1980年4月1日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内, 村田: 昭54年 塑加春講論, 545
- 2) 木内, 村田: 第30回 塑加連講論, 235

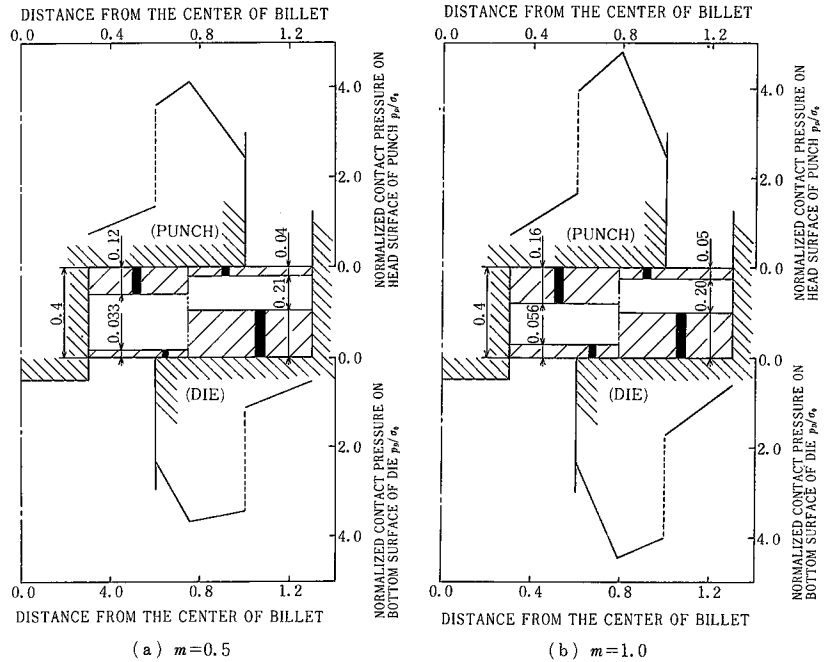


図10 前後方押し時の接触圧力分布 ($H = 0.4$)

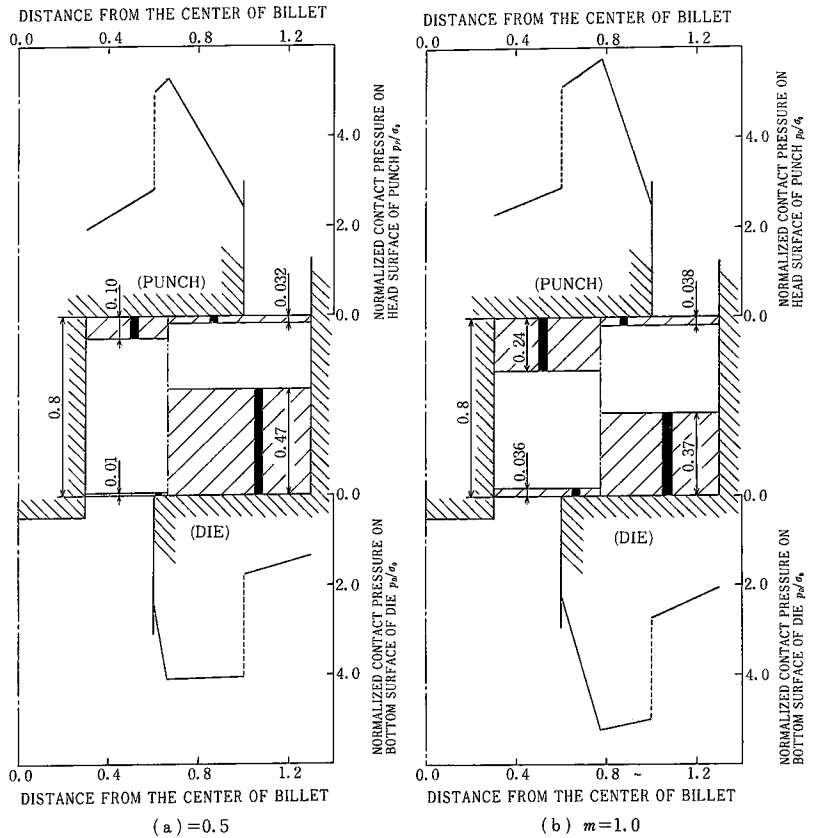


図11 前後方押し時の接触圧力分布 ($H = 0.8$)