論文・報告

# 摩擦条件の高度化によるプレスCAE予測精度向上

**Improvement of Press Forming CAE Prediction Accuracy by Advanced Friction State Modeling**

藤原　雅利*
Masatoshi Fujiwara

**要　旨**

プレス金型の円滑な立ち上げを実現するためには、事前検証においてプレスCAEで高精度に予測することが重要である。本研究ではプレス成形における流入量の予測精度向上を目的として、摩擦条件の高度化に取り組んだ。摩擦摺動試験により摩擦係数への影響因子を調査した結果、面圧が支配的な因子であることを確認した。そこで、面圧と摩擦係数の関係式を同定し、CAEへ適用した。その結果、実成形との流入量差が低減し、流入量の予測精度向上に有効であることを確認した。

**Abstract**

To improve the accuracy of press forming CAE simulations, an advanced friction model was developed. Friction sliding tests were conducted to identify dominant factors affecting the friction coefficient. Contact pressure was found to be the most influential parameter, and a pressure-dependent friction equation was derived and implemented in CAE simulations. Validation using production die forming demonstrated improved agreement between simulation and actual material inflow, confirming the effectiveness of the proposed method.

## 1　はじめに

プロジェクトの立ち上げに際しては、プレス金型を円滑に立ち上げることが求められる。円滑な立ち上げのためにプレス成形では、事前にCAE (Computer Aided Engineering)によって不具合の予測と検証を行い、不具合の事前対策に努めている。しかし、実際は初回トライでプレス部品に品質不具合が発生し、その修正のための金型の改修に多くの工数がかかっている。円滑なプレス金型の立ち上げを実現するためには、実成形とCAEによる事前検証との一致率の向上が求められ、CAEの予測精度向上が重要となる。本報告では、プレス部品の品質に大きく影響する流入量に着目し、その予測精度向上を目的として、流入量に大きく影響する摩擦条件の高度化に取り組んだ内容について報告する。

## 2　プレス品質不具合

プレス成形金型は下型のパンチと上下のブランクホルダで構成されている(**図1**)。材料の外周を上下のブランクホルダで押さえ外周部のしわを抑制しながらパンチを押し込み、目的の部品形状に成形する。成形が進む間、押さえられている外周部から材料が少しずつ金型の内側へ移動する。この時、材料が内側に滑り入る量を流入量と呼ぶ。流入量が少なすぎると材料が引っ張られ、伸び限界を迎えると割れ不具合が発生する。一方、流入量が多すぎると形状の中に材料が余り、しわ不具合が発生する(**図2**)。こういった不具合対策のためビード形状や本数を調整することで、材料の流入量を調整している。このようにプレス部品の品質には流入量が大きな影響を及ぼしている。

*車体技術部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

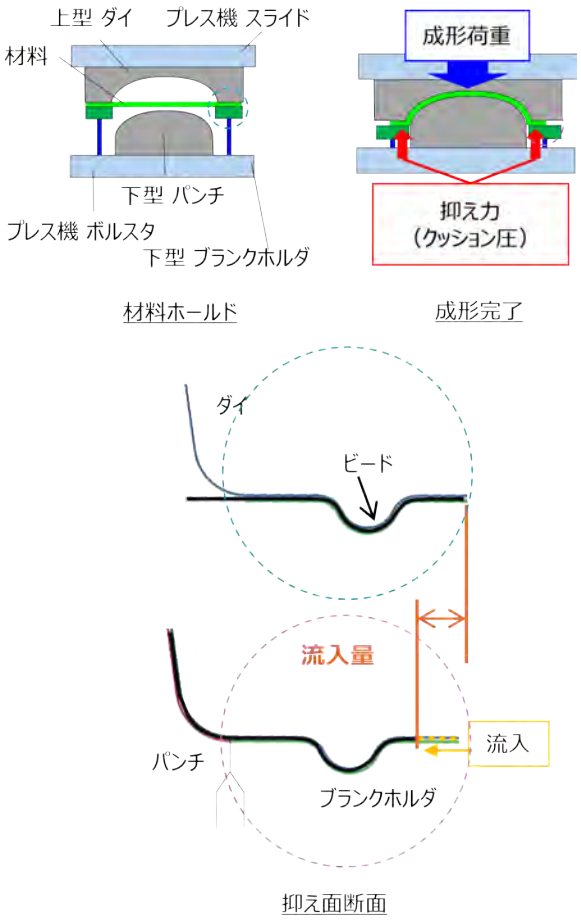



**図1　プレス成形の模式図**

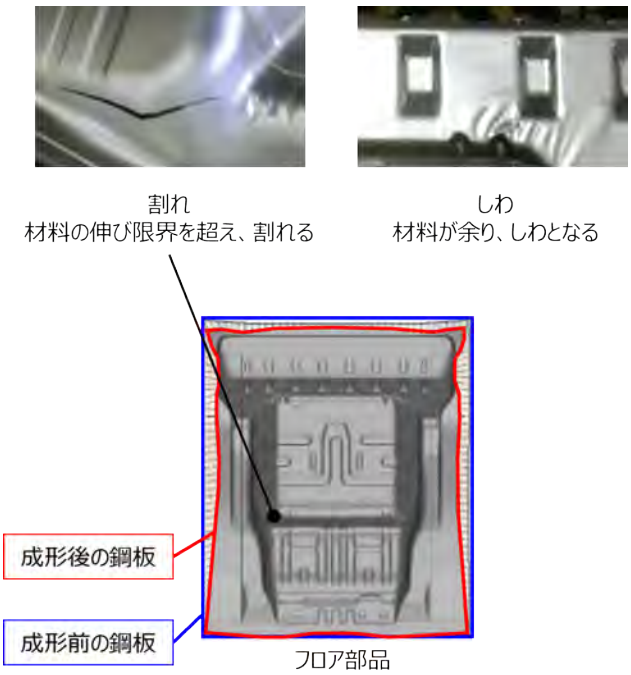



**図2　プレス成形時の不具合**

## 3　プレスCAE

金型製作前の評価プロセスは、製品モデルをもとに金型の面データを作成し、CAEで成形性評価を行う。成形性評価では割れ・しわ評価、寸法評価、外観不具合評価を行う。不具合対策として、成形条件の調整や製品形状の変更や金型形状への見込みを行い、事前対策を講じている。

事前対策の精度向上を図るため、CAEの予測精度向上に取り組んできた。**2章**で述べたとおり、流入量は不具合の根源となっていることから流入量の予測精度向上が重要となる。流入量の予測精度には材料と金型の接触条件・材料モデル・摩擦条件が大きく影響する。 流入量の予測誤差±5mmを目標として、これまで接触条件及び材料モデルの改善に取り組んできた。その結果、直線部では目標値である±5mmを達成した。一方、コーナ部や絞りの深い箇所では依然として10mm以上の誤差が生じており、予測精度の向上が課題となっている(**図3**)。そこで今までの精度向上の取組みに加え、摩擦条件の改善に着手した。

アモントン・クーロン則に基づき、動摩擦係数を面圧に依存しない一定値としてCAEを実施している。一方、摩擦係数は接触面圧、摺動(しゅうどう)速度、油量などの影響を受けて変化することが知られている。摩擦条件の改善に当たり、摩擦試験を実施して摩擦係数に影響を及ぼす因子を評価した。更に、影響が確認された因子について摩擦係数との関係式を同定し、その結果をCAEへ反映することで、流入量の予測精度を検証した。

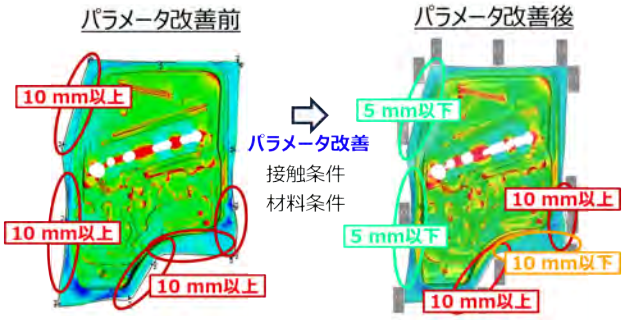



**図3　CAEの流入量と実成形の流入量差**

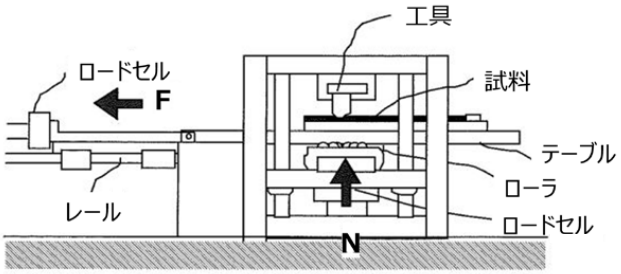
## 4　評価・検証方法

摩擦係数変化適用による流入量の予測精度を検証するに当たり、次のプロセスで検討を進めた。

① 摩擦試験を実施し、摩擦係数への影響因子の大小を評価する。
② 摩擦係数への影響がある因子に対して、再度詳細に条件を設定した摩擦試験を実施し、摩擦係数と影響因子との関係式を同定する。
③ CAEに同定した摩擦係数の関係式を適用し、実成形とCAEの流入量差を評価する。

## 5　摩擦試験

摩擦係数を評価するため、試験方法として摩擦摺動試験を実施した。**図4**に装置の模式図を示す。試験方法は対象の鋼種に工具を規定の押付力で抑え材料を引き抜く。この時の押付力と材料の引抜力から摩擦係数を算出する。




**摩擦係数 ＝ F/N**
F: 引き抜き力，N: 押し付け力

**図4　摺動試験機の模式図**

摩擦係数への影響度を調査する因子の条件を**表1**に示す。今回調査する因子はプレス成形時に流入量に影響を及ぼす因子から、摩擦と関係が深いものを選定した。供試材となる鋼種は自動車用鋼板で使用される冷間圧延鋼板を使用した。

**表1　調査因子の試験条件**

| 面圧 [MPa] | 摺動速度 [m/min] | 油量 | 摺動方向 |
|---|---|---|---|
| 10, **40**, 70 | 1, **5**, 7 | **小**、大 | **平行**、直行 |

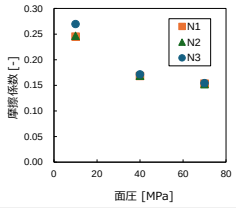
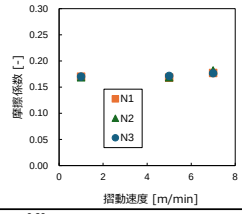
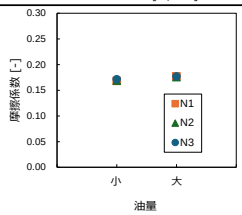
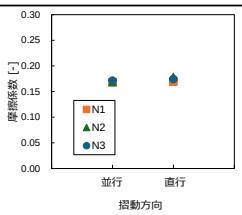
摺動方向に関しては材料コイルの送り方向を平行、幅方向を直行と表記し、各条件N=3で試験を実施した。

摩擦係数に対する因子の影響度をF検定により評価した。F検定は調査した条件での摩擦係数の分散と摩擦係数の誤差分散が等しいか比較し、それが偶然起こる確率から有意差の有無を評価する手法である。今回発生確率が5%未満であれば有意差がある(=影響因子)とし、評価した。

## 6　摩擦試験結果

摩擦係数への影響因子調査の結果を**表2**に示す。**表2**にはF検定の結果と、摩擦係数と調査した因子のグラフも併記している。F検定の結果より、面圧に有意差があると示された。

**表2　摩擦係数への影響因子の評価結果**

| 調査因子 | グラフ | F検定 |
|---|---|---|
| 面圧 |  | 有意差あり $F>F_{0.05}$ |
| 摺動速度 |  | 有意差なし $F<F_{0.05}$ |
| 油量 |  | 有意差なし $F<F_{0.05}$ |
| 摺動方向 |  | 有意差なし $F<F_{0.05}$ |

摩擦係数と面圧の関係式を同定するため、面圧条件を細分化させた追加の摺動試験を実施した。また、関係式の同定に用いた式を**式(1)**に示す。面圧と摩擦係数の関係式を同定するため、面圧条件を細分化した追加の摺動試験を実施した。**式(1)**に、CAEへ適用する面圧と摩擦係数の関係式を示す。

$$\mu_{eff} = \mu \left( \frac{p}{p_{ref}} \right)^{e-1} \quad \cdots(1)$$

$\mu$：基本摩擦係数、$P_{ref}$：参照面圧、$e$：面圧指数

**図5**に追加試験の結果を示す。追加試験の結果と**式(1)**による近似曲線が良好に一致したことから、本関係式をCAEの摩擦条件として適用し、その有効性を検証することとした。

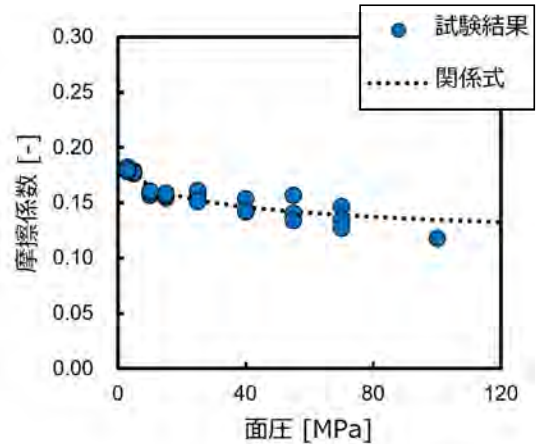



**図5　面圧と摩擦係数の関係と関係式**

## 7　実機評価

摺動試験により同定した摩擦関係式を適用し、流入量予測精度を検証した。比較対象の実成形の金型として流入量が多いルーフ(**図6**)、成形機は2,000tトライプレス機(**図7**)を使用した。



**図6　ルーフ金型**



**図7　2,000tトライプレス機**

プレスCAEは、成形条件を実成形と同一条件として実施した。摩擦条件には、従来の摩擦係数一定値に加え、摩擦試験で同定した面圧と摩擦係数の関係式を適用した。本関係式に必要となる成形過程の面圧は、**図8**に示すようにCAEにより算出可能である。また、解析に使用した金型データは、実金型を3Dスキャンして取得した形状データをもとにCADモデルを作成した。

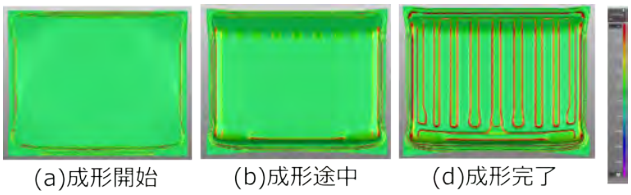



**図8　CAE上での成形過程の面圧変動**

**図9**に流入量の測定ポイントを示す。**図10**に実成形とCAEの流入量のグラフを示す。**図10**より、実プレス成形とCAEの流入量が一致する傾向に良化している。これらのことから、摩擦係数に面圧との関係式を導入することで流入量の予測精度を向上させることが示された。

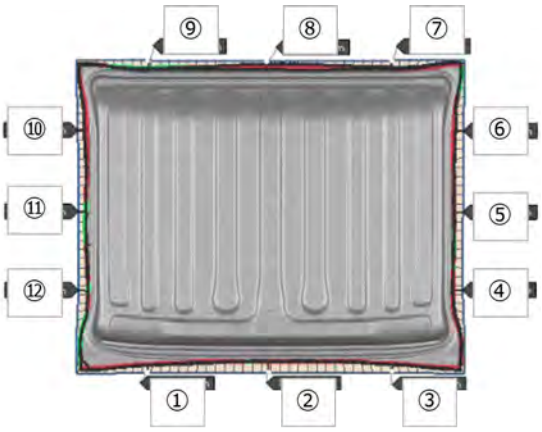



**図9　流入量測定ポイント**

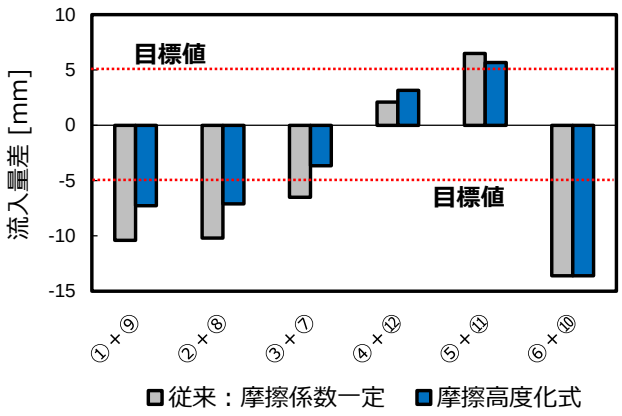



**図10　実成形とCAEの流入量の差**

## 8　考察

摺動試験より、面圧が摩擦係数に与える影響が大きいことが分かった。そこで面圧と摩擦係数の関係を調査したところ、式同定することができた。同定した関係式を適用することで流入量の予測精度が向上するか、量産の金型に対して検証を行ったところ全体としては流入量の予測精度が向上した。このことは実際に成形中の面圧変化によって摩擦係数が変化しており、摩擦係数の再現性が向上したためと考えられる。一方で、全ポイントを目標値としていた流入量差±5mm以内にすることはできず、ポイントによっては流入量に変化が生じなかった。このことは面圧の再現精度が不十分であり、面圧の合わせこみが今後課題となる。

## 9　おわりに

今回プレスCAEの流入量予測精度向上のため、摩擦条件の高度化に取り組んだ。その結果非メッキ材においては、面圧依存を摩擦係数に考慮することで流入量の予測精度向上を示すことができた。今後、非メッキ材以外の材料に対しても摩擦係数の影響を調査する。また考察でも述べたが、実プレスの成形とCAEでの面圧の再現性を向上させることで、更なるCAEの予測精度向上を実現していきたい。

---

**◇いすゞ歴史の一こま**



大森工場 板金治具(1959年ごろ)