# プレス成形品のスプリングバックに関する研究

斎藤　博*　　杉井　伸吾*　　片山　聡*

Study on FEM Analysis of Springback in Press Forming

SAITO Hiroshi*, SUGII Shingo* and KATAYAMA Satoshi*

**抄　録**

プレス成形時に発生するスプリングバックについて、成形実験および静的陰解法プログラム MARC による有限要素法解析を行った結果、実験値と解析は良く対応した。また、解析精度向上には長手方向よりも板厚方向の要素細分割が有効であることが分かった。

## １．緒言

プレス成形時に発生する割れ、しわ、スプリングバックの予測は非常に困難で、従来は試作成形により不具合箇所を発見し、金型形状を修正するという手法が多く用いられてきた。しかし近年の製品の多様化、短納期化に対応していくには、これら試作工程の軽減は必須である。最近では有限要素法解析（FEM）によりプレス成形シミュレーションを行い、不具合箇所を発見しようという試みが積極的に行われているが、特にスプリングバック量の予測においては材料非線形、接触や摩擦の取り扱いなど、多くの課題を残しているのが現状である。

そこで本研究では、解析技術の向上を図ることを目的に、以下のような手順でプレス成形品のスプリングバック解析を行った。

１）応力－ひずみ曲線の測定
２）成形実験および形状評価
３）有限要素法によるスプリングバック解析
　・要素分割による解精度の相違把握
　・材料特性の影響把握

以下、項目毎に詳細を記す。

## ２．応力－ひずみ曲線の測定

有限要素法に用いる材料データを測定するため、万能材料試験機（島津製作所製 AG-250KNI）による一軸引張試験を行った。試験によって得られた公称応力－工学ひずみ曲線は、(1)(2)式により真応力－対数ひずみ曲線へと変換した。結果を図１に示す。

真応力　　$\sigma = s(1+e)$　　…(1)
対数ひずみ　$\varepsilon = \ln(1+e)$　　…(2)
s:公称応力、e:工学ひずみ

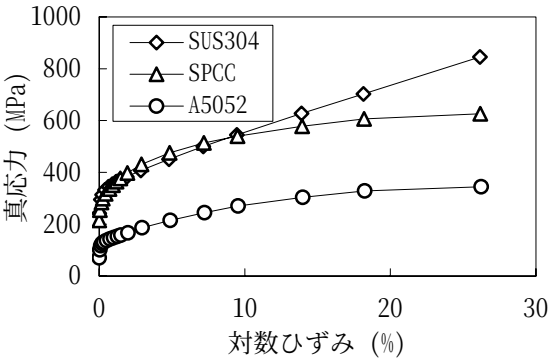


**図１　真応力－対数ひずみ曲線**

## ３．成形実験および形状評価

### ３．１　成形実験

万能材料試験機により成形した形状を図２、図３に示す。曲げ試験については、ポンチの押し込み量を変化させて、スプリングバック量の違いを比較した。

---

＊ 下越技術支援センター

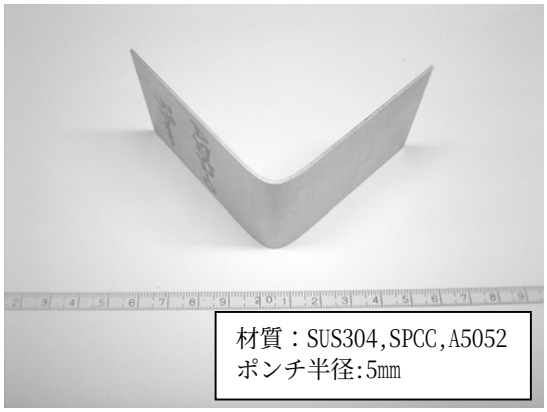


**図２　曲げ実験結果**

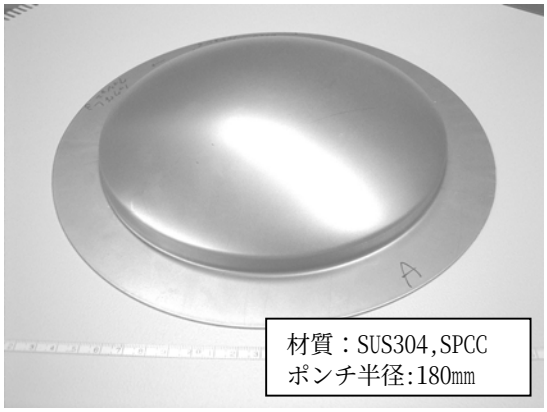


**図３　成形実験結果**

### ３．２　形状評価

曲げ形状は、Ｖ字直線部の開き角度により評価した。測定は工具顕微鏡（カールツァイス・イエナ製 UMM-D）を用いて、直線部の座標を等間隔に４点測定後、最小二乗法によって直線近似した。

成形実験の形状は、球面部の半径により評価した。測定は形状測定器（ミツトヨ製 CV-648）を用いて、測定座標を最小二乗法によって円弧近似した。

## ４．有限要素法によるスプリングバック解析

### ４．１　解析条件

静的陰解法汎用 FEM プログラム MARC を用いて弾塑性解析を行った。解析モデルの概要を図４、図５に示す。両解析ともポンチ、ダイは剛体とし、曲げ解析には四辺形平面ひずみ要素（合計 2500 要素）、成形解析には四辺形軸対称要素（合計 2320 要素）を用いた。ポンチ、ダイと板材の摩擦は考慮していない。材料データは一軸引張試験で得られた真応力－対数ひずみ曲線を MARC の TABLE 機能により入力して用いた。表１に各材質のヤング率と降伏応力を示す。ポアソン比は各材質とも 0.3 とした。

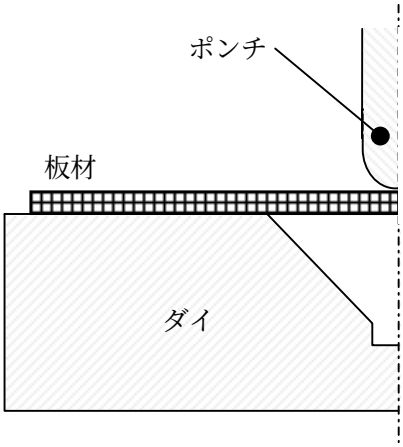


**図４　曲げ解析モデル概要**

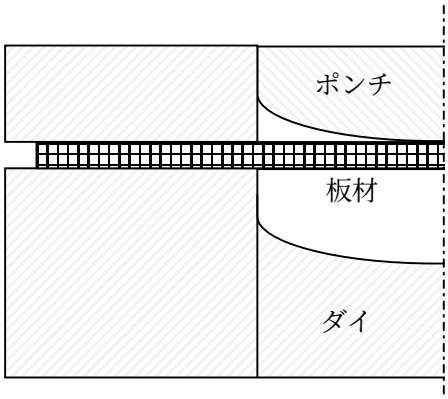


**図５　成形解析モデル概要**

**表１　材料定数**

| 材質 | ヤング率 (GPa) | 降伏応力 (MPa) |
|---|---|---|
| SUS304 | 198 | 232 |
| SPCC | 203 | 215 |
| A5052 | 69 | 91 |

### ４．２　曲げ解析結果

押し込み量とスプリングバック量の関係を図６に示す。どの材質においても、押し込み量が大きくなるにつれスプリングバック量が小さくなっており、その差は 8 deg 程度であることが分かる。

実験値と解析値の開き角度の比較を図７に示す。ポンチの押し込み量にかかわらず、どの材質においても解析値が実験値と近い値を示しており、良好な解析結果が得られていることが分かる。

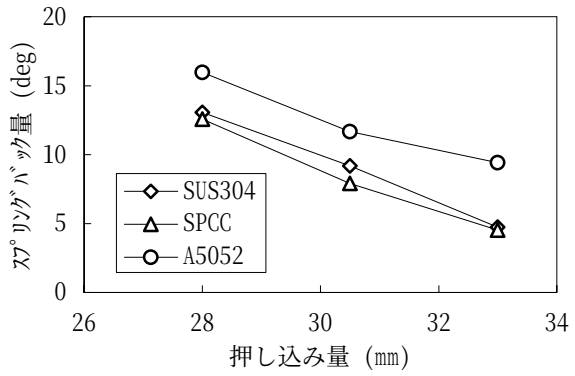


**図６　押し込み量とスプリングバック量の関係**
**（曲げ解析：開き角度）**

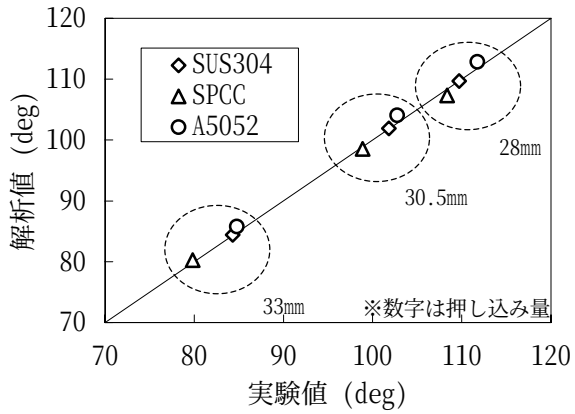


**図７　実験値と解析値の比較**
**（曲げ実験、曲げ解析：開き角度）**

### ４．３　成形解析結果

実験値と解析値の比較を図８に示す。スプリングバック量が半径 180mm に対して 3mm 程度と小さいため誤差が現れづらいが、解析値と実験値がよく対応していることが分かる。

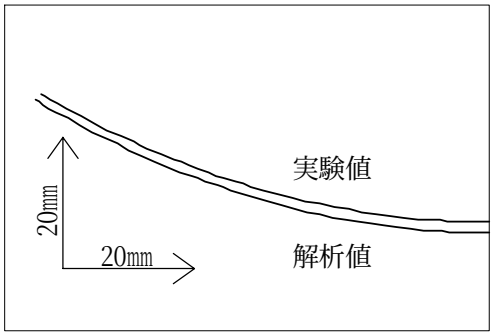


**図８　実験値と解析値の比較**
**（成形実験、成形解析：形状データ）**

### ４．４　要素分割方法による解精度の相違

有限要素法解析では、要素分割方法が解精度に与える影響は大きい。そこで曲げ解析において、長手方向、板厚方向の要素分割が解精度にどのような影響を与えるか調べた。

要素の一辺の長さ 0.2×0.2mm を基準とし、長手方向、板厚方向どちらか片方を２分割したもの、両方向とも２分割したものとで、実験値と解析値の開き角度の差を比較した。図９は押し込み量 33mm での結果である。図から長手方向よりも板厚方向に要素を分割したほうが実験値との差が小さいことが分かる。同じ計算コストで解析を行う場合には、板厚方向の要素分割を優先したほうが効果的であるといえる。

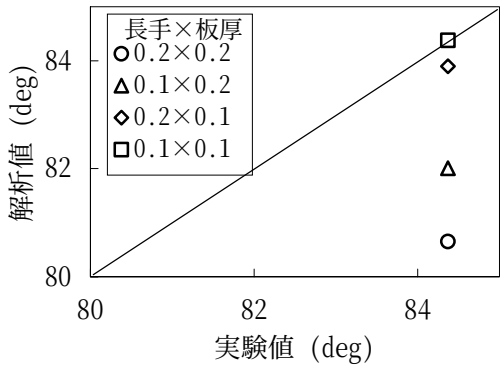


**図９　要素サイズによる解析値の違い**
**（曲げ実験、曲げ解析：開き角度）**

### ４．５　材料特性とスプリングバック量の関係

SUS304 の材料データをもとに、降伏応力$\sigma_y$、ヤング率Ｅの値を変化させ、曲げ解析において材料特性とスプリングバック量の関係を調査した。図１０は$\sigma_y$／Ｅとスプリングバック量の関係を示したものである。図から、降伏応力の増加、ヤング率の減少によりスプリングバック量が大きくなることが分かる。実際の材料では、降伏点の大きい高張力鋼、ヤング率の小さいアルミ合金などがスプリングバック量の大きな材料であるといえる。

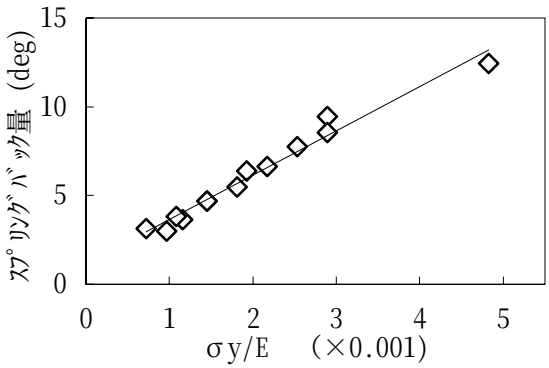


**図１０　材料特性とスプリングバック量の関係**
**（曲げ解析：開き角度）**

### ５．結言

有限要素法によるプレス成形品のスプリングバック解析を行い、以下の結果を得た。

（１）曲げ解析、成形解析とも、実験値と解析は良く対応する。
（２）高精度な解を得るには、長手方向よりも板厚方向の要素細分割が効果的である。
（３）高降伏応力、低ヤング率の材料ほどスプリングバック量が大きくなる。