

引張曲げ曲げ戻し試験機の開発とスプリングバックシミュレーションの高度化

Development of draw-bending test apparatus for evaluating the predictive accuracy of draw-bending springback simulation

桑原 利彦 Toshihiko Kuwabara

工学研究院 先端機械システム部門 教授

Professor, Division of Advanced Mechanical Systems Engineering,

Institute of Engineering

研究領域：製造技術

Keywords: plasticity, sheet metal, springback, Bauschinger effect, nonlinear unloading behavior

URL : <http://www.tuat.ac.jp/~kuwabara/>



Point

- ・一定張力下で金属板材に曲げ曲げ戻し変形を加えることができる試験機を開発．本試験方法により，曲げ曲げ戻し変形を受ける板材のスプリングバック解析に及ぼす各種因子（有限要素の種類と分割数，積分点の数，硬化モデルなど）の影響を定量的に評価できる．
- ・ Draw-bending test machine has been developed. The effect of work hardening models (isotropic or combined), element types (shell or solid), and the number of integration points on the predictive accuracy of springback (residual curvature) are evaluated quantitatively.

1. 研究（技術、開発）の概要

開発した引張曲げ曲げ戻し試験機を Fig.1a に示す．油圧シリンダ B で後方張力を試験片に作用させつつ，油圧シリンダ A で試験片を約 150～200mm 引いて，試験片に曲げ曲げ戻し変形を付与する．試験中の後方張力は油圧制御弁により一定に保持する．試験片形状を Fig.1b に示す．板厚

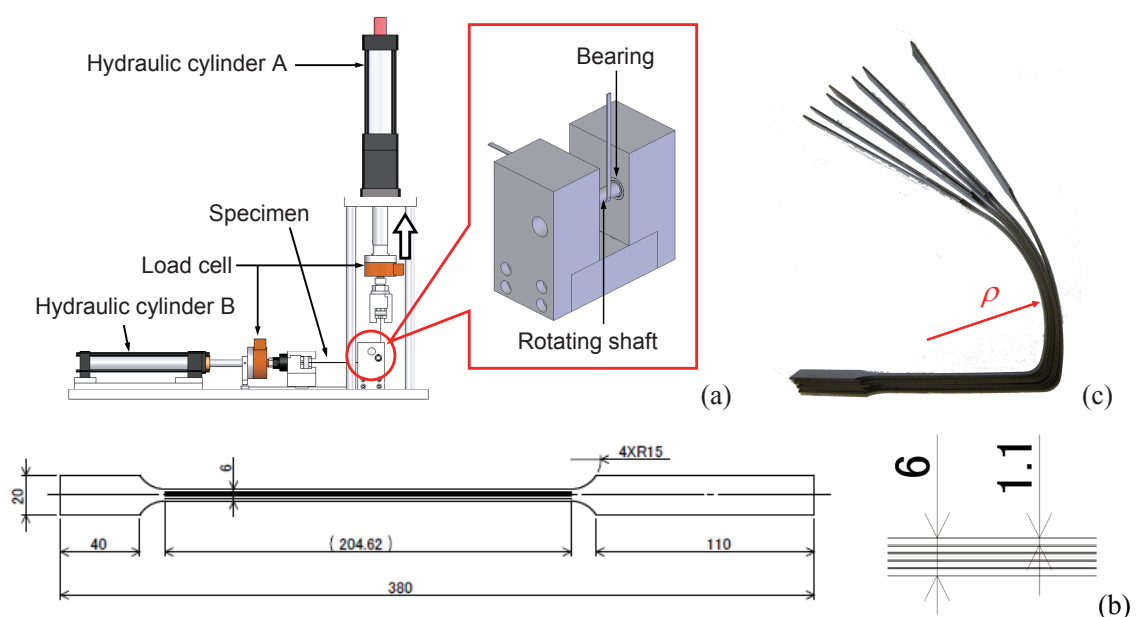


Fig.1 (a) Experimental apparatus and (b) geometry of specimen for draw-bending test of sheet metals and (c) specimen after springback^{2,3)}.

と板幅の比率をほぼ 1:1 にするため試験部には 4 本のスリットが加工されている (Fig.1c).

残留曲率 κ と無次元化張力 (金型出側の公称応力を降伏応力で除した) との関係を図 2 に示す. \star が実験値, \circ が等方硬化 (IH) モデル, \square が反転負荷時のバウシング効果を再現した (IH+NLK) モデル, \triangle が IH+NLK モデルで曲げ戻し過程まで計算し, さらに除荷時の弾性率の低下を考慮したモデルによる計算値である. IH+NLK モデルは IH モデルよりも実験値との差異が大きい. これはバウシング効果に伴う曲げモーメントの低下による. IH+NLK モデルにヤング率の低下を考慮した計算値 (IH+NLK+Nonlinearity) は, IH モデルとほぼ同じかそれを上回る結果となり, 実験値に近づいた. このように, スプリングバック (除荷後の残留曲率) の計算値は材料の硬化モデルと除荷時の非線形挙動の再現精度に大きく影響されることがわかる.

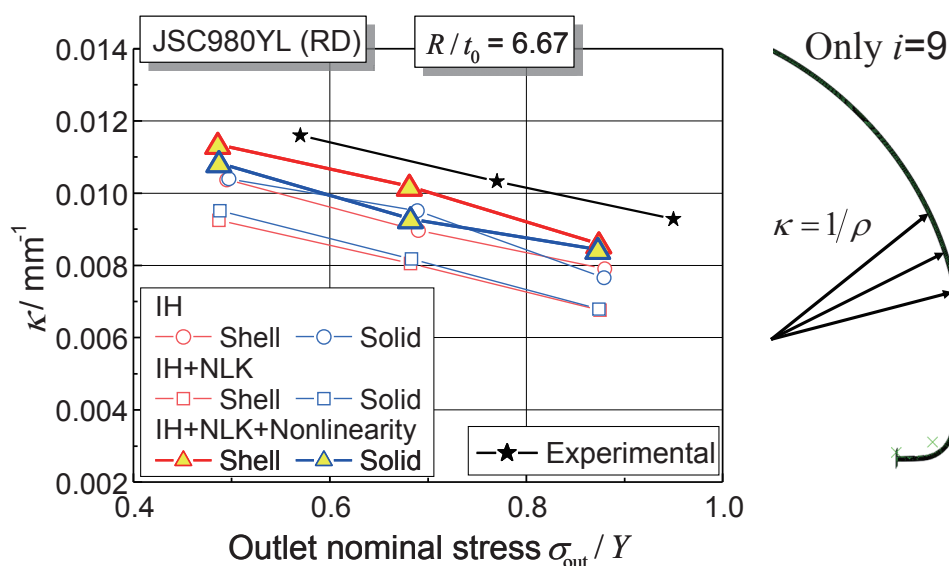


Fig.2 Effect of material models on the predictive accuracy of residual curvature κ of draw-bent specimen³⁾. IH: isotropic hardening model, NLK: nonlinear kinematic hardening model (Chaboche and Rousselier), nonlinearity: nonlinear unloading behaviour of prestrained sheet metal. Sheet thickness: 1.2 mm, bending radius: 8 mm, the number of integration points: 9.

2. 研究 (技術、開発) の独創性

試験片の平行部にスリットを加工し, 板厚と板幅の比率をほぼ 1:1 にすることにより, 曲げ曲げ戻し変形中の応力状態がほぼ単軸応力状態となるように設計されている. これにより, FEM 解析の精度評価をする際に, 異方性降伏関数の影響を排除できる.

3. 今後の展開

曲げ曲げ戻し変形を受ける板材のスプリングバック解析に及ぼす各種因子 (有限要素の種類と分割数, 積分点の数, 硬化モデルなど) の影響を定量的に明らかにする.

4. 関連資料・文献・参考事項

- 1) 木村星香・桑原利彦・守屋岳志・高橋 進: 引張曲げ曲げ戻し変形を受ける鋼板の破断限界, 第60回塑性加工連合講演会論文集, (2009), 47-48.
- 2) 乃万暢賢・桑原利彦: 高張力鋼板の曲げ曲げ戻しFEM解析とスプリングバック検証実験, 第61回塑性加工連合講演会論文集, (2010), 363-364.
- 3) Noma, N. and Kuwabara, T.: Springback analysis of draw-bending of 980 MPa cold rolled steel sheet and its experimental validation, Proc. AMPT 2010, October 25-27, 2010, Paris, France.