

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4418449号  
(P4418449)

(45) 発行日 平成22年2月17日(2010.2.17)

(24) 登録日 平成21年12月4日(2009.12.4)

(51) Int.Cl.

F 1

B 2 1 D 22/00 (2006.01)

B 2 1 D 22/00

請求項の数 13 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2006-244351 (P2006-244351)  
 (22) 出願日 平成18年9月8日(2006.9.8)  
 (65) 公開番号 特開2008-62280 (P2008-62280A)  
 (43) 公開日 平成20年3月21日(2008.3.21)  
 審査請求日 平成20年8月5日(2008.8.5)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000006655  
 新日本製鐵株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号  
 (74) 代理人 100099759  
 弁理士 青木 篤  
 (74) 代理人 100092624  
 弁理士 鶴田 準一  
 (74) 代理人 100102819  
 弁理士 島田 哲郎  
 (74) 代理人 100139583  
 弁理士 高橋 真二  
 (74) 代理人 100108383  
 弁理士 下道 晶久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スプリングバック発生原因部位特定方法、その装置、及びそのプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コンピュータが、プレス成形の成形条件を数値解析して、プレス成形品の成形データを得るプレス成形解析ステップと、

コンピュータが、前記プレス成形品の成形データのうち、前記プレス成形品について曲率及び／又は角度を算定し、前記曲率及び／又は角度に基づいて成形品の領域を分割し、分割したそれぞれの領域について前記成形データに基づいて、応力が所定値以上の分割領域における応力及び／又は歪の少なくとも一つに対して演算処理を行う演算処理ステップと、

コンピュータが、前記演算処理の結果に基づいて、スプリングバック量を算出するスプリングバック量算出ステップと、

を有することを特徴とするスプリングバック発生原因特定方法。

【請求項 2】

前記成形品の領域分割は、前記曲率及び／又は角度が相対的に大きい部分を境界として分割する請求項 1 に記載のスプリングバック発生原因特定方法。

【請求項 3】

コンピュータが、前記分割領域を再度分割して、前記再度分割したそれぞれの領域について、前記演算処理と前記スプリングバック量の算出を行うことで、前記スプリングバック量が最も変化するときの前記領域、応力及び／又は歪の値を特定するステップを有する請求項 1 又は 2 に記載のスプリングバック発生原因特定方法。

10

20

## 【請求項 4】

前記応力が所定値以上の分割領域が複数ある場合、前記所定値以上の複数の分割領域のそれぞれについて、前記演算処理と前記スプリングバック量の算出を行うことで、前記スプリングバック量が最も変化するときの前記領域、応力及び／又は歪の値を特定するステップを有する請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載のスプリングバック発生原因特定方法。

## 【請求項 5】

プレス成形の成形条件を数値解析して、プレス成形品の成形データを得るプレス成形解析部と、

前記プレス成形品の成形データのうち、前記プレス成形品について曲率及び／又は角度を算定し、前記曲率及び／又は角度に基づいて成形品の領域を分割し、分割したそれぞれの領域について前記成形データに基づいて、応力が所定値以上の分割領域における応力及び／又は歪の少なくとも一つに対して演算処理を行なう演算処理部と、

前記演算処理の結果に基づいて、スプリングバック量を算出するスプリングバック解析部と、

を有することを特徴とするスプリングバック発生原因特定装置。

## 【請求項 6】

前記成形品の領域分割は、前記曲率及び／又は角度が相対的に大きい部分を境界として分割する請求項 5 に記載のスプリングバック発生原因特定装置。

## 【請求項 7】

前記演算処理部及び前記スプリングバック解析部は、前記分割領域を再度分割して、前記再度分割したそれぞれの領域について、前記演算処理と前記スプリングバック量の算出を行うことで、前記スプリングバック量が最も変化するときの前記領域、応力及び／又は歪の値を特定する請求項 5 又は 6 に記載のスプリングバック発生原因特定装置。

## 【請求項 8】

前記応力が所定値以上の分割領域が複数ある場合、前記演算処理部及び前記スプリングバック解析部は、前記所定値以上の複数の分割領域のそれぞれについて、前記演算処理と前記スプリングバック量の算出を行うことで、前記スプリングバック量が最も変化するときの前記領域、応力及び／又は歪の値を特定する請求項 5 ～ 7 のいずれか一項に記載のスプリングバック発生原因特定装置。

## 【請求項 9】

プレス成形の成形条件を数値解析して、プレス成形品の成形データを得るプレス成形解析手順と、

前記プレス成形品の成形データのうち、前記プレス成形品について曲率及び／又は角度を算定し、前記曲率及び／又は角度に基づいて成形品の領域を分割し、分割したそれぞれの領域について前記成形データに基づいて、応力が所定値以上の分割領域における応力及び／又は歪の少なくとも一つに対して演算処理を行う演算処理手順と、

前記演算処理の結果に基づいて、スプリングバック量を算出するスプリングバック量算出手順と、

をコンピュータに実行させることを特徴とするスプリングバック発生原因特定プログラム。

## 【請求項 10】

前記成形品の領域分割は、前記曲率及び／又は角度が相対的に大きい部分を境界として分割する請求項 9 に記載のスプリングバック発生原因特定プログラム。

## 【請求項 11】

プレス成形の成形条件を数値解析し、プレス成形の成形データ及びスプリングバック量を算出する手順をコンピュータに実行させる数値解析プログラムと、協働するスプリングバック発生原因部位特定プログラムであって、

前記数値解析プログラムを実行するコンピュータから、前記成形データを取得する手順と、

前記プレス成形品の成形データのうち、前記プレス成形品について曲率及び／又は角度

10

20

30

40

50

を算定し、前記曲率及び／又は角度に基づいて成形品の領域を分割し、分割したそれぞれの領域について前記成形データに基づいて、応力が所定値以上の分割領域における応力及び／又は歪の少なくとも一つに対して演算処理を行う演算処理手順と、

前記数値解析プログラムを実行するコンピュータに、前記演算処理の結果を出力し、かつ、前記スプリングバック量を算出させる手順と、

をコンピュータに実行させることを特徴とするスプリングバック発生原因部位特定プログラム。

#### 【請求項 1 2】

前記演算処理手順における前記成形品の領域を分割は、前記曲率及び／又は角度が相対的に大きい部分を境界として分割する請求項 1 1 に記載のスプリングバック発生原因部位特定プログラム。

10

#### 【請求項 1 3】

請求項 9 ～ 1 2 に記載のコンピュータプログラムを記録したことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0 0 0 1】

本発明は、自動車用部材などを鋼板や棒鋼などの鋼材を始め、アルミ、マグネシウム、チタン等の金属からプレス成形した際にプレス成形製品に発生するスプリングバックの原因部位を特定するための方法、その装置、及びプログラムに関する。

20

#### 【背景技術】

#### 【0 0 0 2】

ドアやバンパーなど多くの自動車用部材、家電部材、建材等は鋼板のプレス成形により製造されている。近年、それらの部材に対する軽量化の要求が高まっており、その要求を実現するために高強度を有する鋼材を使用することによって鋼材を薄手化するなどの対応が図られている。

しかしながら、鋼板の高強度化に伴い、プレス成形による製品形状の確保には厳しい管理が必要となっており、その管理において重要な項目の一つは、プレス成形時に鋼板に生じた残留応力を駆動力として、鋼板の弾性変形分が弾性回復する変形であるスプリングバックである。

30

#### 【0 0 0 3】

特に、昨今は、自動車等の開発工数及びコスト削減のため、デザイン段階と同時に、その成形部材の成形方法を検討する設計段階が開始される傾向にあり、デザイン段階でのデザイン変更が、設計段階での成形部材の変更を生じさせるため、成形部材の成形方法を検討する設計段階での工数やコストは、自動車等の開発工程や開発費において、より大きな問題となっている。

#### 【0 0 0 4】

図 1 は、従来のスプリングバックへの対応を示す成形部材の断面模式図である。(a) は、成形製品の形状断面を示し、(b) は、(a) で示した成形製品と同型の金型で鋼板を冷間プレス成形後、成形製品に生じるスプリングバックを示し、(c) は、スプリングバックを想定して補正した金型の形状断面を示す。このように、(a) に示される成形製品を得るために、(c) に示すようなスプリングバックを予想した「見込み」の金型によって、所望の成形製品を得る対応がある。

40

#### 【0 0 0 5】

このようなスプリングバックを予想した金型を成形する方法として、有限要素法により金型にプレスされた下死点における鋼板の残留応力を解析し、その残留応力と反対向きの残留応力により生じる変形(スプリングフォワード)形状の金型を数値解析することにより、簡易にスプリングバックを考慮した金型を成形する方法が提案されている(特許文献 1、非特許文献 1)。

#### 【0 0 0 6】

50

しかし、スプリングバックを完全に考慮した金型を数値解析により設計することは、非線形問題であり非常に困難であるため、提案されている方法は、あくまでも有限要素法によって簡易にスプリングバックを考慮した金型を成形するというものである。そのため、その金型によって、スプリングバックの許容量を満たさない場合にどのような対策が必要となるかについては、数値的に解析することが困難であるため、依然として、何の解決方法も提案されていない。

【 0 0 0 7 】

そのため、簡易にスプリングバックを考慮した金型で、スプリングバックの許容量が満たされなかった場合、所望の成形製品を得るためにどのような対策をとるかは、技術者の経験に依存することになる。結局、その成形法による金型と実際の鋼板とによるトライアンドエラーテストが必要になる。

10

【 0 0 0 8 】

また、金型形状ではなく、鋼材や成形製品の形状に残留応力を除去する修正を加えることでスプリングバックを少なくする方法が提案されている。

図 2 は、スプリングバックによる変形の発生原因となる部位を探る従来の方法を例示する斜視図である。( a ) は、成形製品の形状を示し、( b ) は、製品の一部 1 を切断除去した場合を示し、( c ) は、製品に孔 2 を開けた場合を示し、( d ) は、製品の一部にスリット 3 を付与する場合を示す。このような対策を講じることによってスプリングバックの挙動を観察すると共に、スプリングバックを少なくする対策が試みられている。

20

【 0 0 0 9 】

また、スプリングバック発生部位への対策により、スプリングバックの原因となる残留応力は低減されても、切断除去や孔開け等のために部材自体の剛性が低下するので、わずかな残留応力でスプリングバックが発生してしまうという問題が生じ、根本的な原因究明には至らない。さらに、このような対策は、実際に試験金型と鋼板とによるテストを必要とするため、設計段階の工数とコストの増大という問題が生じる。

【 0 0 1 0 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 3 - 3 3 8 2 8 号公報

【非特許文献 1】三菱自動車テクニカルレビュー( 2 0 0 6 No. 1 8 1 2 6 ~ 1 3 1 頁)

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 1 】

上述のような問題点に鑑み、本発明は、数値解析によりプレス成形製品のスプリングバック発生の原因となる部位を特定することで、成形部材の成形方法の検討時間を効率的にかつ経済的に短縮する方法を提供することを課題とする。

【 0 0 1 2 】

また、本発明は、製品強度を維持しつつ、スプリングバック量を許容値以下とする成形製品を数値解析により提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

40

以上の課題を解決するために、本発明は、プレス成形の成形条件を数値解析して、プレス成形品の成形データを得るプレス成形解析ステップと、プレス成形品の成形データのうち、プレス成形品について曲率及び/又は角度を算定し、曲率及び/又は角度に基づいて成形品の領域を分割し、分割したそれぞれの領域について前記成形データに基づいて演算処理を行うと判定した一部の領域における物性値及び物理量の少なくとも一つに対して演算処理を行う演算処理ステップと、演算処理の結果に基づいて、スプリングバック量を算出するスプリングバック量算出ステップと、を有するスプリングバック発生原因特定方法を提供する。

【 0 0 1 4 】

上記演算処理ステップは、曲率及び/又は角度が相対的に大きい分割領域の積分点の少

50

なくとも一つの物性値・物理量変数の少なくとも一つに対して演算処理を行っても良い。  
また、上記物性値及び物理量は、板厚、弾性係数、塑性係数、応力の成分値、歪の成分値としても良い。

【0015】

上記スプリングバック発生原因特定方法は、演算処理ステップ及びスプリングバック量算出ステップにおいて、一部の領域を変えて繰り返し行うことによって、スプリングバック量が最も小さくなるときの領域、物性値及び物理量を特定するステップを有することができる。

【0016】

さらに、上記演算処理ステップ及びスプリングバック量算出ステップにおいて、物性値及び物理量の少なくとも一つ、及び/又は、演算処理を変えて繰り返し行うことによって、スプリングバック量が最も小さくなるときの領域、物性値及び物理量を特定するステップを有することができる。

10

【0017】

また、本発明は、プレス成形の成形条件を数値解析して、プレス成形品の成形データを得るプレス成形解析部と、プレス成形品の成形データのうち、プレス成形品について曲率及び/又は角度を算定し、曲率及び/又は角度に基づいて成形品の領域を分割し、分割したそれぞれの領域について前記成形データに基づいて演算処理を行うと判定した一部の領域における物性値及び物理量変数の少なくとも一つに対して演算処理を行なう演算処理部と、前記演算処理の結果に基づいて、スプリングバック量を算出するスプリングバック解析部と、を有するスプリングバック発生原因特定装置を提供する。

20

【0018】

上記曲率及び/又は角度が相対的に大きい分割領域における物性値及び物理量は、曲率及び/又は角度が相対的に大きい分割領域の少なくとも一つの積分点の物性値及び物理量であってもよい。また、上記物性値及び物理量は、板厚、弾性係数、塑性係数、応力の成分値、歪の成分値であってもよい。

【0019】

さらに、上記スプリングバック発生原因特定装置は、上記演算処理部で、演算処理の結果及びスプリングバック量の算出を、一部の領域を変えて繰り返し行うことによって、スプリングバック量が最も小さくなるときの領域、物性値及び物理量を特定することができ、さらに、演算処理の結果及びスプリングバック量の算出を、物性値及び物理量、及び/又は、演算処理を変えて繰り返し行うことによって、スプリングバック量が最も小さくなるときの領域、物性値及び物理量を特定することができる。

30

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、プレス成形製品のスプリングバック発生の原因として解析対象となる特定部位を、曲率及び/又は角度が相対的に大きい部位に限定し、当該部位を変更又は分割し、かつ、その特定部位の物性値及び物理量の少なくとも何れかを数値演算しながら、スプリングバック量を最小化することにより、スプリングバック発生の原因部位を特定すると共に解析対象となる特定部位を減少させ、かつその原因部位の物性値・物理量を正確にかつ迅速に導き出すことを可能とし、又は、解析的なトライアンドエラーにより確認することを可能とし、これにより、成形部材の成形方法の検討時間を経済的にかつ効率的に短縮する方法を提供する。

40

【0021】

さらに、本発明は、特定部位及びその特定部位の物性値及び物理量の少なくとも何れかを変化させることで、実際の成形製品に対して切断除去や孔開けを行わずに、スプリングバック変化量を許容値以下とする特定部位とその性状データを求めることが可能である。そのため、このように解析された成形製品は、スプリングバック変化量を許容値以下とすると同時に、製品の剛性を維持することが確認できるため、スプリングバック変化量を維持するために、剛性を犠牲にするような成形製品の切断除去や孔開け等の対策を不要とす

50

ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

図3は、本発明の一実施形態によるスプリングバック発生原因部位特定装置の機能構成図を示す。

スプリングバック発生原因部位特定装置10Aは、プレス成形解析部11、スプリングバック解析部12、物性値・物理量演算処理部14、ファイル格納部16、成形条件入力部18、及びスプリングバック量出力画面19を有する。

【0023】

成形条件入力部18は、後述するプレス成形解析部11及びスプリングバック解析部12で解析対象となる鋼板の形状データ（板厚、長さ、幅、曲率、歪等）、性状（強度、伸びなどの材質、板厚などの形状）、金型形状（ダイ（金型）及びパンチ形状、曲率、径、クリアランス、潤滑条件）、プレス条件（しわ押さえ荷重、パッド荷重、ビード張力、温度）などの成形条件を入力する入力部である。

【0024】

プレス成形解析部11は、成形条件入力部18で入力された成形条件を入力情報として、弾塑性有限要素法、剛塑性有限要素法、ワンステップ有限要素法、境界要素法、初等解析等を用いて、プレス成形された被加工物である鋼板等の応力や歪や板厚などを求める数値解析を行う。プレス成形解析部11は、被加工物の板厚、応力の成分値、歪の成分値等の変数や、その変数の分布という形式で数値解析結果を出力する。その出力データは、例えば、ファイル「P o r g . k」として、スプリングバック解析部12、後述する部分物性値・物理量演算処理部14及びファイル格納部16に出力される。

【0025】

このプレス成形解析部11による数値解析は、有限要素法（例えば市販のソフトウェアPAM-STAMP、LS-DYNA、Autoform、OPTRIS、ITAS-3D、ASU/P-FORM、ABAQUS、ANSYS、MARC、HYSTAMP、Hyperform、SIMEX、Fastform3D、Quikstamp）を用いて、プレス成形する製品の形状データ（板厚、長さ、幅、曲率、歪みなど）及び、使用する金属板の性状（強度、伸びなどの材質、板厚などの形状）に基づいて、必要であれば金型形状（ダイ及びパンチ形状、曲率、径、クリアランス、潤滑条件）、プレス条件（温度、圧力）などの成形条件を設定し、成形解析を行い、かつ、成形後の応力、歪値の分布を数値的に得ることができる。

【0026】

スプリングバック解析部12は、プレス成形解析部11の出力データファイル「P o r g . k」及び後述する物性値・物理量演算処理部14の出力データファイル「P r e m . c a s e n . k」を入力データとして用いて、スプリングバック解析を行う。スプリングバック解析とは、プレス成形解析部11の出力結果である被加工物の板厚、応力の成分値、歪の成分値等の変数、及び変数分布に基づいて、弾性有限要素法、弾塑性有限要素法、ワンステップ有限要素法、初等解析等により、除荷過程の計算を行い、被加工物に生じる変形量であるスプリングバック量を数値解析することである。そのスプリングバック量は、被加工物を有限要素法等により分割し、3次元データ座標の要素毎に計算される。なお、被加工物に生じる変形量であるスプリングバック量としては、被加工物の任意点の変形量、被加工物の指定領域内の最大変位点もしくは最小変位点の変形量、被加工物内の複数の任意の面又は線同士がなす角度、または、被加工物の任意の面又は先のなす曲率等がある。

【0027】

物性値・物理量演算処理部は、まず初期領域として被加工物を分割する。

プレス成形解析部11での数値解析により、有限要素法解析では成形解析後の被加工物の幾何学的な情報として各節点の座標値を得ることができる。これにより各要素の曲率や要素間の角度を客観的に算出することが可能である。プレス成形品の場合、変形後の被加工物はパンチ肩Rやダイ肩R等の曲げの稜線部では、曲げ稜線に垂直な方向で他の部位に

10

20

30

40

50

比べ非常に大きな曲率となる。ここでは各要素の最大曲率を計算し、ある閾値以上の曲率となる要素を非表示にすれば、パンチ肩Rやダイ肩R以外の部位（ウェブ面、縦壁部、フランジ部）を連続していない別々の領域として分離することが可能である。

#### 【 0 0 2 8 】

図 4 ～ 図 8 にプレス成形解析から演算処理までの工程の例を示す。

図 4 がプレス成形解析結果であり、応力分布がコンタ図で表示されている。プレス成形解析結果である各要素の曲率を表示したものが図 5 であり、曲率の大きい要素を非表示としたのが図 6 である。段差部で非常に大きな曲率となることから、縦壁部内である閾値以上の曲率となる要素を非表示にすれば、段差の稜線部を境界とした複数の領域に分離可能であり、個別の領域を抽出または選択することで特徴形状に基づいた領域を選択可能である。図 6 により、段差のある側壁は 3 つの面と、ウェブ、段差のない縦壁部（図から隠れている）、両側の各フランジ部に分割できることがわかる。図 6 により分割したそれぞれの領域について、図 4 に示した成形データ（応力分布）に基づいて、応力の高い領域について演算処理を行うと判定したのが、図 7 に示す領域 A 1 5 ～ A 1 7 である。判定工程では、曲率及び / または角度に基づいて分割した領域について、後述の演算を行うかを成形データに基づいて判定する。例えば、分割した各領域のプレス成形解析後の応力レベルにより判定する。

#### 【 0 0 2 9 】

領域 A 1 5 ～ A 1 7 について、それぞれの領域の全ての要素に対して、例えば応力をゼロとする演算処理を行った状態が図 8 である。

ここでは要素の最大曲率を用いたが要素間の角度を用いても同様の領域分割を行うことができる。

また、段差のないハット断面形状のメンバー部材を考えると、分離された各領域として、ウェブ面、両側の縦壁部、両側のフランジ部を選択することができる。また、選択した領域が平面でない場合、同様の手法を繰り返すことで、さらに特徴的な領域を選択していくことが可能である。

#### 【 0 0 3 0 】

スプリングバック解析部 1 2 は、有限要素法（例えば市販のソフトウェア PAM-STAMP、LS-DYNA、Autoform、OPTRIS、ITAS-3D、ASU/P-FORM、ABAQUS、ANSYS、MARC、HYSTAMP）を用いて、プレス成形解析部 1 1 で得られた「P o r g . k」内に記載の応力分布を入力し、スプリングバック解析を実施する。ソフトウェア内でのスプリングバックの計算は例えば、有限弾塑性変形の基礎式や離散化手法に沿った内容で計算される。ただし、スプリングバックの計算は弾性解析であっても、弾塑性解析であっても良い。

#### 【 0 0 3 1 】

スプリングバック解析部 1 2 の出力データは、スプリングバック量、スプリングバック時の歪等の形状、性状、応力等を含み、スプリングバック量出力画面 1 9 に出力され、かつ、入力データファイル「P o r g . k」による数値解析結果出力データファイル「S B o r g . k」、又は、「P r e m . c a s e n . k」による数値解析結果出力データファイル「S B r e m . c a s e n . k」として、スプリングバック解析部 1 2、後述する物性値・物理量演算処理部 1 4 及びファイル格納部 1 6 に出力される。

#### 【 0 0 3 2 】

ファイル格納部 1 6 は、プレス成形解析部 1 1、スプリングバック解析部 1 2、後述する物性値・物理量演算処理部 1 4 の出力結果であるデータファイル「P o r g . k」、「S B o r g . k」、「P r e m . c a s e n . k」、「S B r e m . c a s e n . k」、「P t r i m . c a s e n . k」等を保存するための格納部である。しかし、それらのデータファイル等が、プレス成形解析部 1 1 と、スプリングバック解析部 1 2 と、物性値・物理量演算部 1 4 との間で直接入出力される場合は、このファイル格納部 1 6 は、必ずしも必要では無い。

#### 【 0 0 3 3 】

物性値・物理量演算処理部 1 4 は、プレス成形解析部 1 1 の出力データファイル「P

10

20

30

40

50

「org.k」内の一部の領域を選択し、その一部の領域の板厚、弾性係数、塑性係数、応力の成分値、歪の成分値の少なくとも一つ以上の変数に対して演算処理を実施する。そして、演算処理後の出力データファイル「Prem.case1.k」を生成して、スプリングバック解析部12に出力する。このデータファイルの送受信は、繰り返し行うことが可能であり、ファイル格納部16に逐次保存可能であり、また、ファイル形式ではなく実行プロセス又はスレッドのデータ入出力という形でデータのやりとりを行っても良い。

#### 【0034】

この計算に使用されるスプリングバック特定部位又は原因判断のための領域データは、有限要素法における1個以上の要素、複数の要素からなる微小領域、又は、要素が連続した集合体などの計算単位区分、有限要素法による数値積分手法の計算単位で応力や歪を計算する点のうちの一部である積分点（板厚方向における一部の点、面内の一部の点の双方を含む）等とすることができる。「1個以上の要素」とは有限要素法の領域分割単位である要素をいい、「計算単位区分」とは初等解析における計算単位となる微小領域の一つまたは連続した集合体をいう。また、「積分点」とは、一般的に有限要素法で行う近似的な積分を行う点である。「一部の積分点」とは、有限要素法による数値積分手法の計算単位で応力や歪を計算する点のうちの一部をいい、板厚方向における一部の点、及び面内の一部の点の双方を含むものとする。

#### 【0035】

なお、ここで言う演算処理は、上記変数の少なくとも1個以上を係数倍すること、ゼロを含む一定値にすること、四則演算をすること、関数に基づいて計算すること、一定ではない任意の値に置換することをいう。

#### 【0036】

また、「板厚、弾性係数、塑性係数、応力の成分値、歪の成分値の少なくとも一つ以上の変数」とは、被加工物の一部の板厚、弾性定数（ヤング率、ポアソン比）、塑性係数（降伏応力、塑性係数、加工硬化指数）、解析する3次元座標系（ $x$ 、 $y$ 、 $z$ ）としたときに、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向の応力若しくは歪（それぞれ3成分）、 $xy$ 平面、 $yz$ 平面、 $zx$ 平面の剪断応力若しくは剪断歪（それぞれ3成分）、の計18の因子のうち少なくとも一つ以上をいう。

#### 【0037】

図9は、有限要素法で使用される座標系を示す図である。（a）は、3次元全体の座標系を、（b）は、局所座標系を示す。

このとき、図9（a）で示すように、（ $x$ 、 $y$ 、 $z$ ）座標軸での成分値の他に、例えば図（b）に示すように、要素31の平面を $xy$ 平面とみなした局所座標系（ $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ ）における応力、歪、剪断応力、剪断歪の計12成分も含むものとする。また、相当応力、相当塑性歪、弾性エネルギー（弾性仕事）、塑性エネルギー（塑性仕事）等の各応力成分や歪成分を使って得られる変数や、応力増分やひずみ増分等の各成分値の増分形で計算された成分値も含むものとする。

#### 【0038】

一般に、鋼板を解析対象とする有限要素法解析では、その鋼板の物性値・物理量は、2mm～4mm角の有限要素に分割される。しかし、要素の分割単位は、物性値・物理量が一定と近似される長さで分割されるため、必ずしも2mm～4mm角に限定されるものではない。つまり、残留応力が大きい部位は、有限要素をより小さく限定することが必要な場合もある。また、各要素は、3次元座標面で規定され、有限要素の面の角度や曲率は、他の面との比較によって規定される。

#### 【0039】

このように、スプリングバック発生部位の特定のために、角度や曲率に基づいて部材を領域分割し、残留応力レベルの高い部分を演算対象とすることで、計算量を大幅に減らすことにより、より迅速なスプリングバック発生部位の特定が可能である。

#### 【0040】

演算処理の例として、 $x$ 成分値を係数倍する方法を説明する。

10

20

30

40

50



選択された領域の積分点における演算前の応力成分を ( $x_0, y_0, z_0, xy_0, yz_0, zx_0$ )、歪成分を ( $x_0, y_0, z_0, xy_0, yz_0, zx_0$ ) とすると、演算処理後の応力成分 ( $x, y, z, xy, yz, zx$ )、歪成分 ( $x, y, z, xy, yz, zx$ ) は以下のとおりとなる。

$$x = K \times x_0, y = y_0, z = z_0, xy = xy_0, yz = yz_0, zx = zx_0$$

$$x = x_0, y = y_0, z = z_0, xy = xy_0, yz = yz_0, zx = zx_0$$

ここでKは - 1 0 0 0 ~ 1 0 0 0 までの範囲で変化させた演算を行い、板厚は演算処理前の値をそのまま使うこととし、弾性係数、塑性係数は、成形条件入力部 1 8 で入力した値を使う場合が一般的である。例示のため、Kは、 $x$  に関してのみ示すが、他の成分についても、同様に变化させても良い。

10

#### 【 0 0 4 1 】

また、材料特性 (板厚、弾性係数、塑性係数) を演算対象とすることも可能である。例えば、物性値・物理量演算処理部 1 4 において、プレス成形解析部 1 1 から得られた被加工物の一部の領域を選択し、選択された領域の例えば、ヤング率を演算処理において係数倍する。その場合は選択された領域の演算前の板厚  $t_0$ 、ヤング率  $E_0$ 、ポアソン比  $\nu_0$ 、塑性係数  $F_0$ 、 $a_0$ 、 $n_0$  ( $= F_0 (1 + a_0)^{n_0}$  の場合) とすると、演算後の板厚  $t$ 、ヤング率  $E$ 、ポアソン比  $\nu$ 、塑性係数  $F$ 、 $a$ 、 $n$  ( $= F (1 + a)^n$  の場合) は以下のとおりとなる。

$$t = t_0, E = K \times E_0, \nu = \nu_0, F = F_0, a = a_0, n = n_0$$

ここでKは - 1 0 0 0 ~ 1 0 0 0 の範囲で変化させることができる。例示のため、Kは、 $E$  に関してのみ示すが、他の材料特性についても、同様に变化させても良い。

20

#### 【 0 0 4 2 】

また、物性値・物理量演算処理部 1 4 では、プレス成形解析部 1 1 から得られた状態変数を出したファイルを直接編集により変更することで領域を選択して演算処理することも可能である。例えばファイルの内容をワードパット等のテキスト編集機能を有するソフトで表示し、成形条件入力部 1 8 の操作により演算処理を行いたい領域の成分値を直接書き換えたり、カットアンドペーストにより成分値を入れ替えても良い。

これにより、選択した領域の演算した変数 (成分) がスプリングバックにどのくらい影響を与えているかを定量的に評価できる。

#### 【 0 0 4 3 】

30

例えばスプリングバック解析部 1 2 で有限要素節点の変位分布をコンター図 (等高線図) で表示した場合や変形形状の切断面を表示した場合は、選択した領域の演算した変数 (成分) ごとの結果の図を、スプリングバック量出力画面 1 9 上に並べて比較することや図示しないプリンタに出力して比較することが可能である。また、任意の指定位置の節点の座標値 ( $X, Y, Z$ ) をソフト上またはファイル出力により確認した場合は、選択した領域の演算した変数 (成分) ごとの数値を比較したり、表計算ソフト等を用いてグラフ化して比較することが可能である。

#### 【 0 0 4 4 】

スプリングバック量出力画面 1 9 上に表示されるコンター図は、物性値・物理量演算処理部 1 4 による物性値・物理量演算処理、及び、スプリングバック解析部 1 2 によるスプリングバック量計算を繰り返し行いながら、スプリングバックの原因となる部位や変数を厳密に特定していくことが出来る。

40

#### 【 0 0 4 5 】

さらに、物性値・物理量演算処理部 1 4 の特定領域を選択により変更したり、選択された領域の成分値を  $x$  だけではなく  $y$  や  $xy$  などの成分値についても演算処理として係数倍してから、スプリングバック解析部 1 2 のスプリングバック解析を実施し、スプリングバック量出力画面 1 8 にスプリングバックの原因となる部位や変数を表示させ、スプリングバックによる変位の変化量を比較することで、スプリングバックの原因となる部位や変数を厳密に特定していくことが可能である。

#### 【 0 0 4 6 】

50

また、物性値・物理量演算処理部 14 において、被加工物の一部の中で複数の領域を選択して、それぞれの選択した領域に対し演算処理を同時に実施することで原因特定のために必要な解析工数を低減することが可能である。

【0047】

図 10 は、本発明の一実施形態によるハット型断面形状部品の領域選択の例を示す斜視図である。

例えば、プレス成形解析部 11 により得られた被加工物が図 5 に示すようなハット型断面形状部品の場合に、物性値・物理量演算処理部 14 において図 10 に示すような成形後の応力が所定値より大きい複数の領域 A1、A2 を同時に選択し、選択した領域 A1、A2 に対して  $\times$  を係数倍にする演算処理を実施し、スプリングバック解析部 12 においてその演算処理結果を用いたスプリングバック解析を行う。

10

【0048】

そのスプリングバック解析結果から、スプリングバックによる変位の変化量を調べて、領域 A1、A2 に加わっている応力成分値  $\times$  がどのくらいスプリングバックに影響しているかを、片側ずつ演算処理をしなくても 1 回の演算処理のみで評価できる。

【0049】

さらにスプリングバック解析部 12 のスプリングバック解析を行った後に最もスプリングバック量が増加するときの領域を再分割して、再分割した領域の大きさが所定値以下になるまで、判定して、再分割したそれぞれの領域について、物性値・物理量演算処理部 14 において演算処理を行い、再度スプリングバック解析部 12 でスプリングバック解析を行うことで、最もスプリングバック量が増加する領域をスプリングバック発生の原因を特定することができ、効率的な原因特定が可能である。なお、物性値・物理量演算処理部 14 は、スプリングバック変化量が閾値以下となるように、物性値及び物理量を操作変数として変化させるような収束計算を行うことができ、同時に、特定領域の分割領域も操作変数として変化させるような収束計算を行っても良い。

20

【0050】

また、プレス成形解析部 11 において、例えば有限要素法を用いて成形解析を行い、成形後の応力、歪値の分布を数値的に得た場合、物性値・物理量演算処理部 14 において領域を選択する際に 1 個以上の要素を選択して演算対象の領域とすることができる。場の問題を解くための解析手法である有限要素法においては、連続体を有限の要素に分割して扱うのが特徴であり、要素はその辺上に位置する有限個の節点において連結され、個々の要素に定義された形状関数と節点の変位から要素内の変位場が一意的に決定されるものである。例えば、プレス成形解析部 11 で得られた応力成分  $\times$  の分布を表示し、 $\times$  値が最も大きい要素を選択領域としたり、 $\times$  が最も大きい要素とその要素に接する要素の集団を選択領域とすることができる。

30

【0051】

また、プレス成形解析部 11 において、例えば初等解析手法を用いて成形解析を行い、成形後の応力、歪値の分布を数値的に得た場合、物性値・物理量演算処理部 14 において領域を選択する際に 1 個以上の計算単位区分を選択して演算対象の領域とすることができる。

40

【0052】

また、プレス成形解析部 11 において、例えば有限要素法を用いて成形解析を行い、成形後の応力、歪値の分布を数値的に得た場合、物性値・物理量演算処理部 14 において領域を選択する際に 1 個以上の積分点を選択して演算対象の領域とすることができる。例えば、プレス成形解析部 11 の有限要素解析において被加工物は板厚保方向に 5 個の積分点（板裏面から表面に向けて 1、2、3、4、5）を有するシェル要素で解析しておき、物性値・物理量演算処理部 14 において選択した要素の板裏面に最も近い 1 と板表面に最も近い 5 の積分点のみを演算対象の領域とすることができる。これにより、金型の曲率を有する部分に接触して変形した際に受ける曲げ変形の影響を分離した評価を行える。

【0053】

50

図 1 1 は、本発明の一実施例によるスプリングバック原因部位特定処理のスプリングバック発生原因特定処理のフローチャートを示す。

【 0 0 5 4 】

ステップ S 1 0 1 では、成形条件入力部 1 8 に成形条件が入力される。次に、ステップ S 1 0 2 に進む。

【 0 0 5 5 】

ステップ S 1 0 2 では、プレス成形解析部 1 1 が、成形条件で規定された被加工物に対して数値解析処理を行い、プレス成形する製品の成形後の応力、歪値の分布を計算する。次に、ステップ S 1 0 3 に進む。

【 0 0 5 6 】

ステップ S 1 0 3 では、物性値・物理量演算処理部 1 4 で、変換対象領域となる特定部位が決定される。この特定部位は、プレス成形品について曲率及び / 又は角度を算定し、前記曲率及び / 又は角度に基づいて成形品の領域を分割し、分割したそれぞれの領域について前記成形データに基づいて判定して、後述の演算処理を行う領域を決定する。次に、ステップ S 1 0 4 に進む。

【 0 0 5 7 】

ステップ S 1 0 4 では、S 1 0 3 で演算処理を行うと判定した一部の領域における物性値及び物理量の少なくとも一つを変換する上述の演算処理が行われる。次に、ステップ S 1 0 5 に進む。

【 0 0 5 8 】

ステップ S 1 0 5 では、プレス成形時の被加工体の変換処理された物性値及び物理量に基づいて、スプリングバック量が計算される。次に、ステップ S 1 0 6 に進み、同時にステップ S 1 0 7 でスプリングバック量の結果が画面表示される。

【 0 0 5 9 】

ステップ S 1 0 6 では、スプリングバックの許容値が許容値以内か判定を行う。許容値以内であれば、本処理を終了する。許容値以上であれば、ステップ S 1 0 8 に進む。なお、ステップ S 1 0 6 及びステップ S 1 0 8 は、人間が、特定部位の指定を、スプリングバック変化量を見ながら手動で行っても良い。

【 0 0 6 0 】

ステップ S 1 0 8 では、特定部位及び被加工体の物性値・物理量を変更する。ここでは、特定部位のみの変更を行ってもよく、物性値・物理量の変更だけを行っても良く、それら双方を同時に行っても良い。そして、ステップ S 1 0 5 に戻る。ステップ S 1 0 5、ステップ S 1 0 6、ステップ S 1 0 8 の処理は、スプリングバック変化量が閾値以下になるような収束計算により行うことが可能で、閾値以下になるまで繰り返される。

【 0 0 6 1 】

なお、本処理の繰り返し回数を制限し、制限した繰り返し回数を超えた場合は、処理を終了しても良い。その場合、ファイル格納部 1 6 に格納されたスプリングバック解析部 1 2 の出力データファイル「S B r e m . c a s e n . k」を人間が検討し、人間がスプリングバック量出力画面 1 9 を見ながら、最適な特定部位を探索して求めることが可能となる。

【 0 0 6 2 】

図 1 2 は、本発明の別な一実施形態によるスプリングバック発生原因部位特定装置の機能構成図を示す。

図 1 2 に示したスプリングバック発生原因部位特定装置 1 0 B は、図 3 に示したスプリングバック発生原因部位特定装置 1 0 A と比べて、物性値・物理量演算処理部 2 1 の代わりに、部分残留応力除去処理部 2 1 を有する。

【 0 0 6 3 】

部分残留応力除去処理部 2 1 は、スプリングバック発生の原因と考えられる部位である特定部位に対して、残留応力を除去する処理を行う処理部である。

その特定部位は、上記と同様に、プレス成形品について曲率及び / 又は角度を算定し、

10

20

30

40

50

前記曲率及び／又は角度に基づいて成形品の領域を分割し、分割したそれぞれの領域について前記成形データに基づいて判定して、後述の演算処理を行う領域を決定することができる。また、選択する領域はスプリングバック量出力画面１９に表示された曲率及び／又は角度を見ながら、成形データ（応力分布等）に基づいて成形条件入力部１８（例えば、マウスやキーボード等）によって行っても良いし、座標値等で範囲を指定して行うこともできる。さらに、この特定部位は、複数設定することもできる。

【００６４】

また、特定部位は、データファイル「P o r g . k」の残留応力分布に基づいて、又は、スプリングバック解析部１２で得られたデータファイル「S B o r g . k」及び「S B U V C . c a s e n . k」のスプリングバック量、及び／又は、残留応力分布に基づいて、計算により求めることもできる。

10

つまり、プレス成形の下死点における残留応力集中部位を特定部位としても良いし、スプリングバック時の残留応力集中部位を特定部位としても良いし、スプリングバック量最大の部位を特定部位としても良い。

【００６５】

さらに、部分残留応力除去処理部２１は、成形品の成形データのうち物性値を変化させずに、残留応力の除去によりスプリングバック変化量を判別することが出来るため、成形製品の強度を維持しつつスプリングバックを抑える成形製品の状態を求めることが出来る。

【００６６】

20

これらの特定部位の判断は、スプリングバック許容値を満たさない場合に、様々な組み合わせケースを自動生成してスプリングバック量を計算しても良い。一般には、スプリングバック量が最大となる部分は、成形製品の外周部となるような場合も多いため、残留応力集中部位を優先的に特定部位とした方が好ましい。例えば、残留応力が一番集中している部位を特定部位の最優先選択候補とし、次に、残留応力が最大ではなくても、ある程度残留応力が大きくスプリングバック量が最大となる部分を特定部位の第２優先選択候補とし、残留応力が２番目に集中している部位を特定部位の第３優先選択候補とする等のように規定しても良い。

【００６７】

部分残留応力除去処理部２１は、スプリングバック解析部１２からの出力ファイル「S B o r g . k」を入力データとして、上述のように特定部位を決定し、その特定部位の残留応力をゼロ又はより低減した値とする。そして、この特定部位の残留応力が変更されたデータファイルを「P t r i m c a s e 1 . k」と定義して、「P o r g . k」内の相当する特定部位を「P t r i m c a s e 1 . k」のデータで置換して、置換後のファイルを「P U V C c a s e 1 . k」とする。

30

【００６８】

部分残留応力除去処理部２１は、「P U V C c a s e 1 . k」をスプリングバック解析部１２に出力し、スプリングバック解析部１２にスプリングバック量を計算させる。このとき、スプリングバック解析部１２は、計算結果であるデータファイル「S B U V C . C a s e 1 . k」をファイル格納部１６に保存し、かつ、そのデータファイルに示されるスプリングバック量をスプリングバック出力画面１９に表示する。

40

【００６９】

また、部分残留応力除去処理部２１は、ファイル格納部１６に保存された「S B o r g . k」内の残留応力除去処理前のスプリングバック量と、「S B U V C . C a s e 1 . k」内の第１回目の残留応力除去処理後のスプリングバック量とを比較して、スプリングバック量が減少して閾値以下になったかどうかを判断する。

スプリングバック量が、その許容値以下の場合は処理を終了する。スプリングバック量がある許容値以上の場合は、さらなる残留応力部位の残留応力を減少する処理を行うために、部分残留応力除去処理部２１は、その他の特定部位、及び／又は、他の残留応力値で部分残留応力処理を行うこともできる。その他の特定部位は、上述のように、プレス成形

50

下死点における残留応力集中部位、残留応力が所定値以上でスプリングバック量最大の部位や、スプリングバック時の残留応力集中部位等が候補となり、それら単独、又は、様々な組み合わせの場合についてスプリングバック量を自動的に計算しても良い。その際、生成される特定部位の位置座標データと応力データのファイルは、 $n$  ケース毎に「P trim casen . k」が生成される。

【0070】

部分残留応力除去処理部 21 は、複数ケース毎に生成した「P trim casen . k」と対応して生成した「P UVC . casen . k」を入力データとしてスプリングバック計算された「SB UVC . Casen . k」を、ファイル格納部 16 に格納しても良い。

10

【0071】

図 13 は、本発明の一実施形態によるスプリングバック原因部位特定処理のフローチャートを示す。

【0072】

ステップ S 201 では、成形条件入力部 18 に成形条件が入力される。次に、ステップ S 202 に進む。

【0073】

ステップ S 202 では、プレス成形解析部 11 が、成形条件で規定された被加工物に対して数値解析処理を行い、プレス成形する製品の成形後の応力、歪値の分布を計算する。次に、ステップ S 203 に進む。

20

【0074】

ステップ S 203 では、スプリングバック解析部 12 で、プレス成形された被加工物のスプリングバック量の解析処理が行われる。次に、ステップ S 204 に進む。

【0075】

ステップ S 204 では、残留応力を除去する特定部位が決定される。この特定部位は、プレス成形品について曲率及び / 又は角度を算定し、前記曲率及び / 又は角度に基づいて成形品の領域を分割し、分割したそれぞれの領域について前記成形データに基づいて判定して、後述の残留応力除去 (S 205) を行う領域を決定する。この決定は、プレス成形時又はスプリングバック時の残留応力、又は、残留応力が所定値以上のときのスプリングバック量等に基づいて決定される。次に、ステップ S 205 に進む。

30

【0076】

ステップ S 205 では、特定部位の残留応力を減少、又は、ゼロにする処理が行われる。次に、ステップ S 206 に進む。

【0077】

ステップ S 206 では、特定部位の残留応力を減少、又は、ゼロにされたプレス成形時の形状又は性状データに基づいて、スプリングバック量が計算される。次に、ステップ S 207 に進み、同時にステップ S 208 でスプリングバック量の結果が画面表示される。

【0078】

ステップ S 207 では、スプリングバックの許容値が許容値以内か判定を行う。許容値以内であれば、本処理を終了する。許容値以上であれば、ステップ S 209 に進む。なお、ステップ S 207 及びステップ S 209 は、人間が、特定部位の指定を、スプリングバック変化量を見ながら手動で行っても良い。

40

【0079】

ステップ S 209 では、特定部位を変更する。特定部位の変更は、プレス成形時又はスプリングバック時の残留応力集中部、又は、残留応力が所定値以上のときのスプリングバック量最大部等の判断材料に基いて、1 つ以上の特定部位が選定される。このステップでは、特定部位が成形条件入力部 18 を介して手動で選定されても良い。そして、ステップ S 205 に戻り、上述した処理が、ステップ S 207 のスプリングバック許容値以内になるまで繰り返される。

【0080】

50

なお、スプリングバック許容値との関係において収束解が得られない場合は、本処理の繰り返し回数を制限し、制限した繰り返し回数で処理を終了しても良い。その場合であっても、ファイル格納部 16 に格納されたスプリングバック解析部 12 の出力データファイル「S B U V C . c a s e n . k」を人間が検討し、人間がスプリングバック量出力画面 19 を見ながら、最適な特定部位を探索して求めることを可能とする。

#### 【0081】

図 14 は、本発明の一実施形態によるスプリングバック発生原因部位特定装置のハードウェア構成図を示す。上述したプレス成形解析部 11、スプリングバック解析部 12、物性値・物理量演算処理部 14、部分残留応力除去処理部 21、における各処理は、プログラム 100 に規定され、そのプログラム 100 をコンピュータ 90 に実行させても良い。コンピュータ 90 は、必要な処理を実行する CPU 91、処理結果を格納するメモリ 92（例えば、RAM（Random Access Memory））、ディスプレイ 93、例えば、キーボードやマウスのような入力装置 94、ハードディスク 95、CD/DVD ドライブのような外部記憶装置 96、NIC（ネットワーク・インタフェース・カード）97、プリンタ 98 を備える。コンピュータ 90 は、NIC 97 に接続されたイーサネット（登録商標）ケーブルにより構成されるネットワーク 99 を介して、他のコンピュータ 90A と接続可能である。

#### 【0082】

プログラム 100 は、記録媒体に保存され、外部記憶装置 96 からローディングされ、もしくは、他のコンピュータ 90A からネットワーク 99 を介してダウンロードされ、CPU 91 の制御によって、コンピュータ 90 のハードディスク 95 に保存される。次に、保存されたプログラム 100 は、CPU 91 によって、実行され、実行プロセス又はスレッドとしてメモリ 92 に格納される。例えば、プレス成形解析部 11、スプリングバック解析部 12、物性値・物理量演算処理部 14 又は部分残留応力除去処理部 21 における各処理が、それぞれ実行プロセス又はスレッドとなり、各実行プロセス又はスレッド間で上述したデータファイル、又は、データが入出力される。また、それらの各実行プロセス又はスレッドは、他のコンピュータ 90A に分散して存在し、各処理がコンピュータ 90 と他のコンピュータ 90A によって分散処理されても良い。

#### 【0083】

また、図 3 に示される成形条件入力部 18、スプリングバック量出力画面 19 は、それぞれ、入力装置 94、ディスプレイ 93 であっても良い。上述したファイル格納部 16 は、ハードディスク 95 であっても良い。プログラム 100 は、ハードディスク 95 に保存しても良い。そして、ディスプレイ 93 に出力された上述のコンター図は、プリンタ 98 に出力することが可能である。

#### 【実施例 1】

#### 【0084】

以下、本発明を、実施例により具体的に説明する。

図 15 は、本発明の実施例によるスプリングバック解析の対象となるハット型断面形状部品を示す図であり、(a) はその斜視図、(b) はその断面図であり、ウェブ面 W0、側壁 W1、W2、フランジ F1、F2 から構成される。

#### 【0085】

プレス成形解析部 11 及びスプリングバック解析部 12 が行う数値解析には有限要素法に基づく市販の板成形シミュレーション解析ソフトウェア P A M - S T A M P を使用した。スプリングバック解析は静的陰解法による弾性解析を用いた。

#### 【0086】

成形条件は、金属板の性状として、板厚 1.6 mm、引張強さ 780 MPa 級の高強度鋼板のデータを用いた。また、金型（ダイ、パンチ、ホルダー）の形状をシェル要素によりモデリングし、剛体と仮定して解析した。ダイとパンチのクリアランスは板厚と同じ 1.6 mm とした。摩擦係数は 0.15 を入力し、しわ押さえ荷重として 600 kN を設定した。

## 【 0 0 8 7 】

図 1 6 は、本発明の実施例によるハット型断面形状部品の断面位置とねじれ角度を示す図であり、( a ) はその斜視図、( b ) はその断面図である。

得られた結果をポスト処理ソフトにて図 1 1 に示す位置 A、B での断面を構成する点の座標値を取得し、断面のウェブ面のなす角度 を求めた。スプリングバック量とは、ここでは、角度 とする。

## 【 0 0 8 8 】

特定部位決定の工程では、被加工物の有限要素データから曲率に基づいて演算処理を実施する領域を選択・分割する。曲率算定プログラムを用いて、プレス成形解析結果から被加工物の要素情報・節点座標値を読み込み、被加工物の曲率を算定し、曲率が 0 . 0 1 以上となる要素を非表示とすることで、フランジ・ウェブ面・縦壁の各領域に分割を行なった。また、段差のある縦壁は図 1 7 に示すように 3 つの領域 A 1 5 ~ A 1 7 に分割された。プレス成形後の各領域の応力レベルを見ると、段差のある縦壁の応力レベルが高いため、図 1 7 に示す領域 A 1 5 ~ A 1 7 を演算処理対象として判定、選択した。

## 【 0 0 8 9 】

演算処理工程では、成形解析から得られた応力や歪が出力されたファイルを、ファイル入力手段を有する演算処理プログラムで取り込み、図 1 6 に示す領域 A 1 5 ~ A 1 7 について各領域ごとに領域に属する要素の積分点に演算手段により以下の演算を施した。

$$x = 0, \quad y = 0, \quad z = 0, \quad xy = 0, \quad yz = 0, \quad zx = 0$$

$$x = x_0, \quad y = y_0, \quad z = z_0, \quad xy = xy_0, \quad yz = yz_0, \quad zx = zx_0$$

ここで、選択された領域の積分点における演算前の応力成分を (  $x_0, y_0, z_0, xy_0, yz_0, zx_0$  ), 歪成分を (  $x_0, y_0, z_0, xy_0, yz_0, zx_0$  ) と表し、演算処理後における応力成分を (  $x, y, z, xy, yz, zx$  ), 歪成分を (  $x, y, z, xy, yz, zx$  ) とした。板厚は演算処理前の値をそのまま使うこととし、弾性係数、塑性係数は i ) の工程で入力した値をそのまま使用した。演算された応力や歪値はファイル出力手段により演算結果ファイルとして出力した。

## 【 0 0 9 0 】

スプリングバック解析工程では演算処理工程で得られた演算結果ファイルを市販の板成形シミュレーション解析ソフトウェア P A M - S T A M P に入力してスプリングバック解析を実施した。スプリングバック解析は静的陰解法による弾性解析を用いた。各領域での演算処理・スプリングバック解析を領域分割数繰り返した。得られたそれぞれの結果をポスト処理ソフトにて図 1 5 に示す位置 A、B での断面を構成する点の座標値を取得し、スプリングバック量として位置 A、B での断面のウェブ面のなすねじれ角度 を求めた。

## 【 0 0 9 1 】

図 1 8 にスプリングバック解析結果を断面評価して得られたねじれ角度 の結果を示す。これより演算処理をしなかった場合、および領域 A 1 5 ~ A 1 7 に演算処理を行った結果の中では、領域 A 1 5 に演算処理を行った場合に最もねじれ角度 が小さくなっている。これより領域 A 1 5 の応力がねじれ角度 に与える影響が大きいことが判る。

## 【 実施例 2 】

## 【 0 0 9 2 】

演算処理を除いて、実施例 1 と同様の計算を行った。演算処理工程では、成形解析から得られた応力や歪が出力されたファイルを、ファイル入力手段を有する演算処理プログラムで取り込み、図 1 7 に示す領域 A 1 5 ~ A 1 7 について各領域ごとに領域に属する要素の板厚方向最表裏の積分点に演算手段により以下の演算を施した。

$$x = 0, \quad y = 0, \quad z = 0, \quad xy = 0, \quad yz = 0, \quad zx = 0$$

$$x = x_0, \quad y = y_0, \quad z = z_0, \quad xy = xy_0, \quad yz = yz_0, \quad zx = zx_0$$

ここで、選択された領域の積分点における演算前の応力成分を (  $x_0, y_0, z_0, xy_0, yz_0, zx_0$  ), 歪成分を (  $x_0, y_0, z_0, xy_0, yz_0, zx_0$  ) と表し、演算処理後における応力成分を (  $x, y, z, xy, yz, zx$  ), 歪成分を (  $x, y, z, xy, yz, zx$  ) とした。板厚は演算処理前の値をそのまま使うこととし、弾

10

20

30

40

50

性係数，塑性係数は  $i$  ) の工程で入力した値をそのまま使用した。演算された応力や歪値はファイル出力手段により演算結果ファイルとして出力した。

図 19 にスプリングバック解析結果を断面評価して得られたねじれ角度の結果を示す。これより演算処理をしなかった場合，および領域 A 15 ~ A 17 に演算処理を行った結果の中では，領域 A 15 に演算処理を行った場合に最もねじれ角度が小さくなっている。これより領域 A 15 の応力がねじれ角度に与える影響が大きいことが判る。

【0093】

このように、本発明によるスプリングバック発生部位特定装置は、従来実際の装置を用いてスプリングバックの検討を、数値解析によりスプリングバック発生部位を特定できるので、成形部材の設計段階でのテスト工数及び費用を減少させるものである。また、この

10

【0094】

以上説明した実施形態は典型例として挙げたに過ぎず、その各実施形態の構成要素を組み合わせること、その変形及びバリエーションは当業者にとって明らかであり、当業者であれば本発明の原理及び請求の範囲に記載した発明の範囲を逸脱することなく上述の実施形態の種趣の変形を行えることは明らかである。

【図面の簡単な説明】

【0095】

【図 1】従来のスプリングバックへの対応を示す成形部材の断面模式図である。

20

【図 2】スプリングバックによる変形の発生原因となる部位を探る従来の方法を例示する斜視図である。

【図 3】本発明の一実施形態によるスプリングバック発生原因部位特定装置の機能構成図を示す。

【図 4】本発明例によるプレス成形解析結果の応力分布を示すコンタ図である。

【図 5】本発明例による各要素の曲率を示すコンタ図である。

【図 6】本発明例による曲率の大きい要素を非表示としたコンタ図である。

【図 7】本発明例による曲率に基づいて領域分割したことを示す図である。

【図 8】本発明例による一部の領域の応力をゼロとしたコンタ図である。

【図 9】本発明の一実施形態による有限要素法で使用される座標系を示す図である。

30

【図 10】本発明の一実施形態による被加工物の領域選択の例を示す斜視図である。

【図 11】本発明の一実施形態によるスプリングバック発生部位特定処理のフローチャートである。

【図 12】本発明の一実施形態によるスプリングバック発生原因部位特定装置の機能構成図を示す。

【図 13】本発明の一実施例によるスプリングバック原因部位特定装置のスプリングバック発生原因特定処理のフローチャートである。

【図 14】本発明の一実施形態によるスプリングバック原因部位特定処理のハードウェア構成図である。

【図 15】被加工物の例を示す斜視図と断面図である。

40

【図 16】本発明の実施例によるハット型断面形状部品の断面位置とねじれ角度を示す図である。

【図 17】本発明の実施例による特定領域 A 15 ~ A 17 を示す斜視図である。

【図 18】本発明の実施例による特定領域 A 15 ~ A 17 のねじれ角度を示す図である。

【図 19】本発明の実施例による特定領域 A 15 ~ A 17 のねじれ角度を示す図である。

【符号の説明】

【0096】

10 A, 10 B      スプリングバック発生原因部位特定装置

11      プレス成形解析部

12      スプリングバック解析部

50

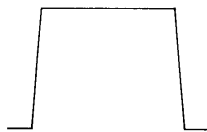


- 1 4 物性値・物理量演算処理部
- 1 6 ファイル格納部
- 1 8 成形条件入力部
- 1 9 スプリングバック量出力画面
- 2 1 部分残留応力除去処理部

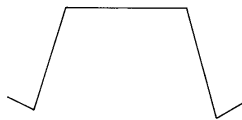
【図 1】

図 1

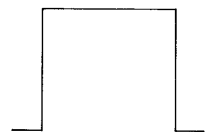
(a)



(b)



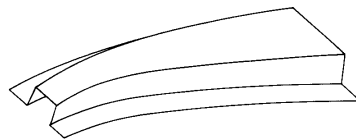
(c)



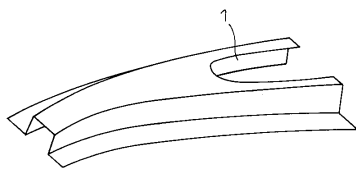
【図 2】

図 2

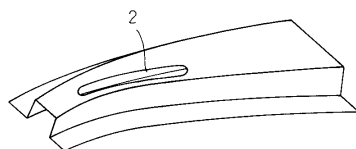
(a)



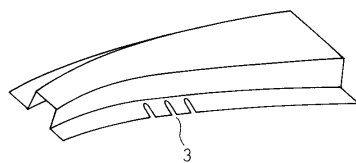
(b)



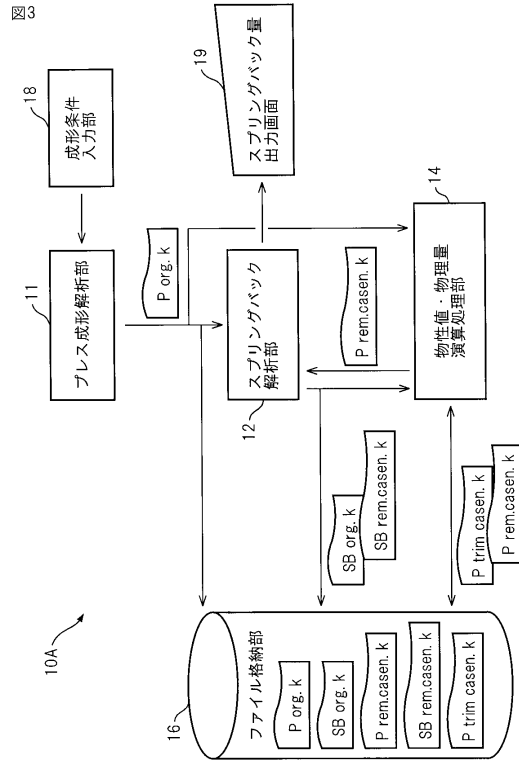
(c)



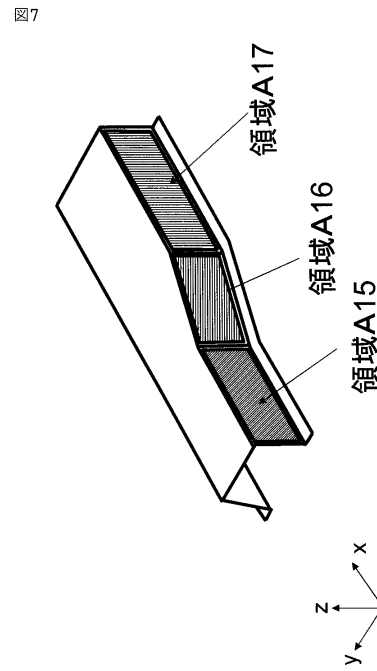
(d)



【図3】

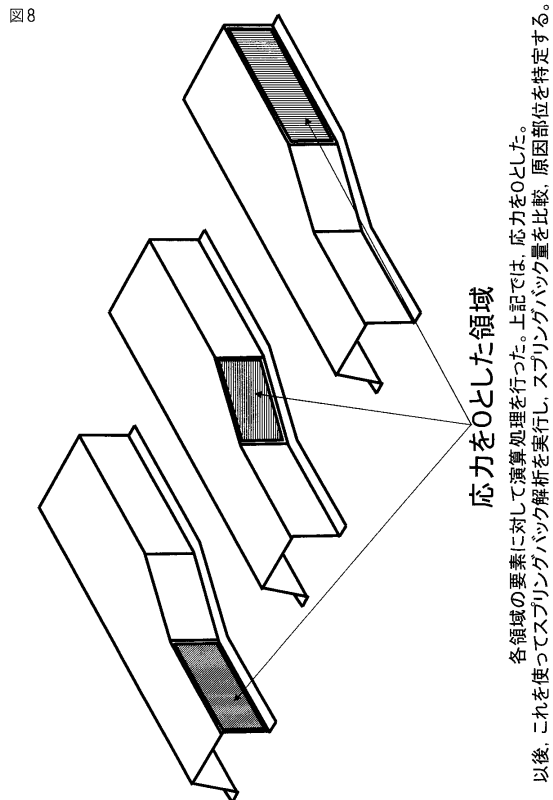


【図7】

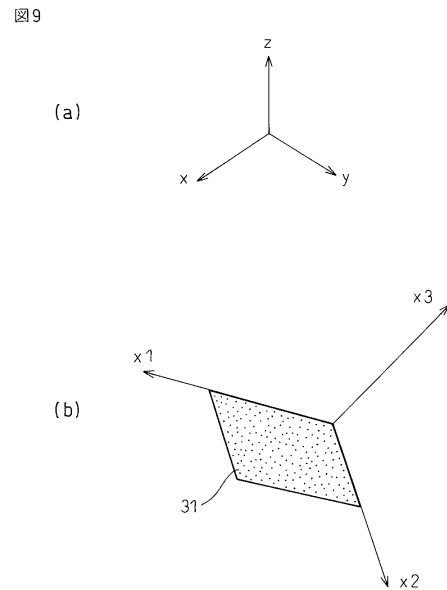


処理3の結果を使って、各領域に分割したところ  
側壁の応力レベルが高いため、上記3領域を選択した

【図8】

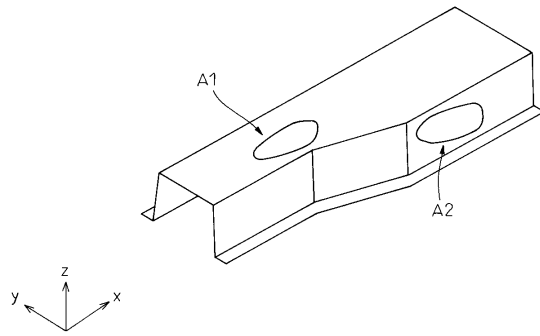


【図9】



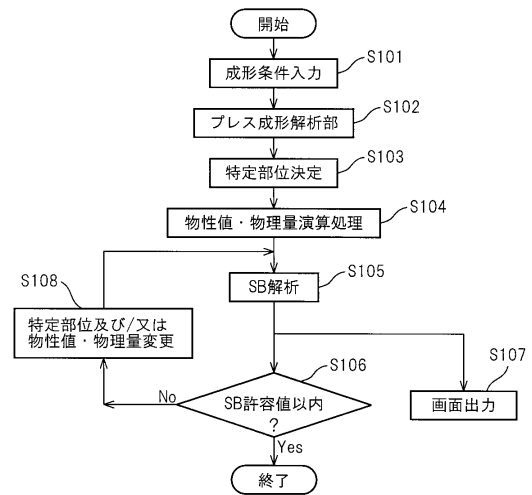
【図 10】

図10



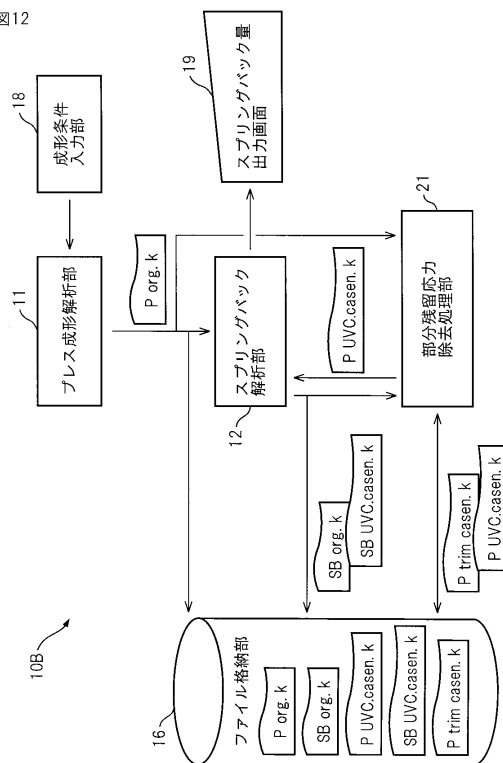
【図 11】

図11



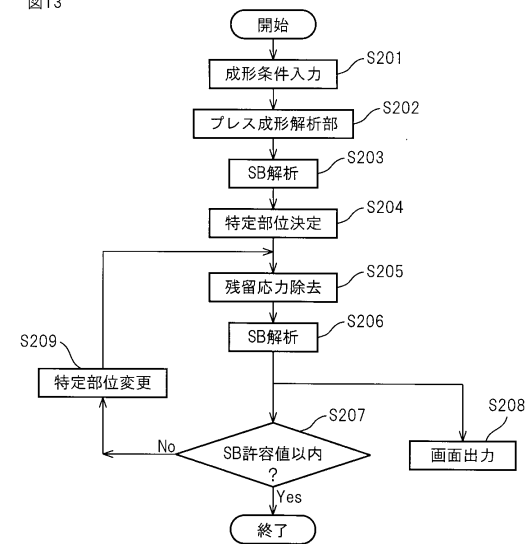
【図 12】

図12



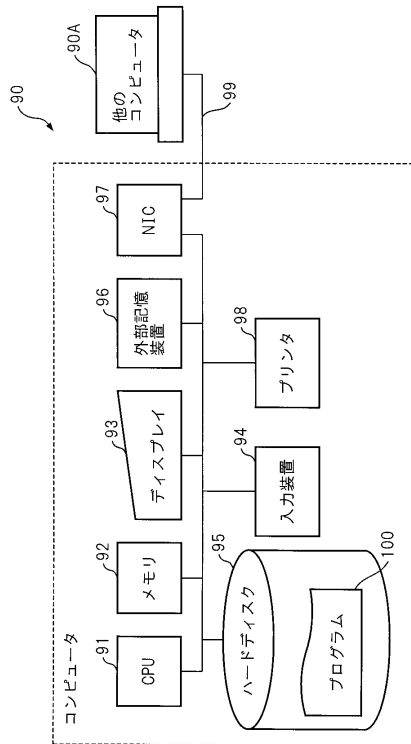
【図 13】

図13



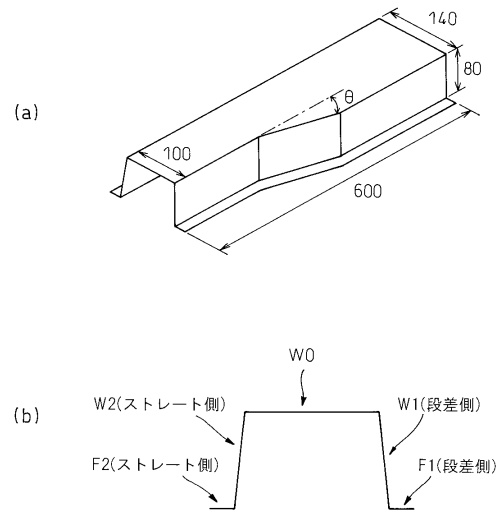
【図 14】

図14



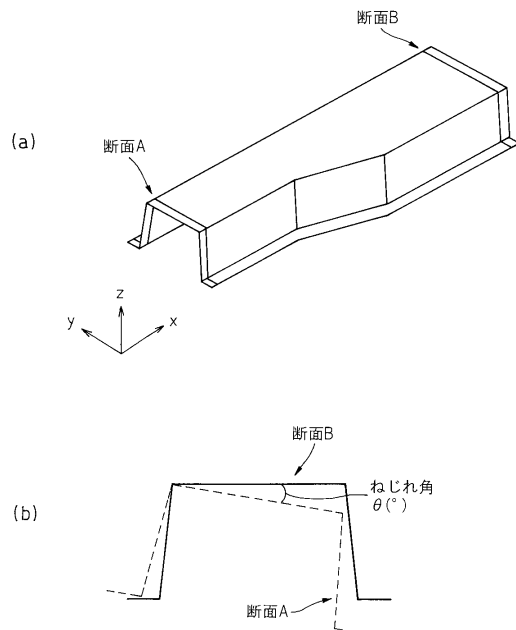
【図 15】

図15



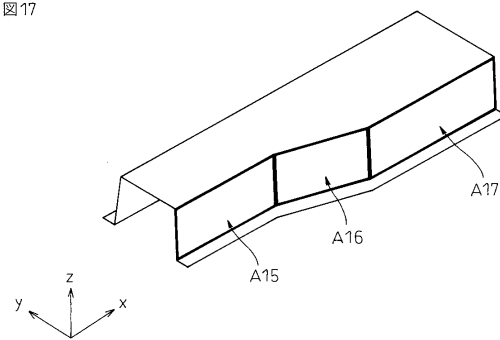
【図 16】

図16



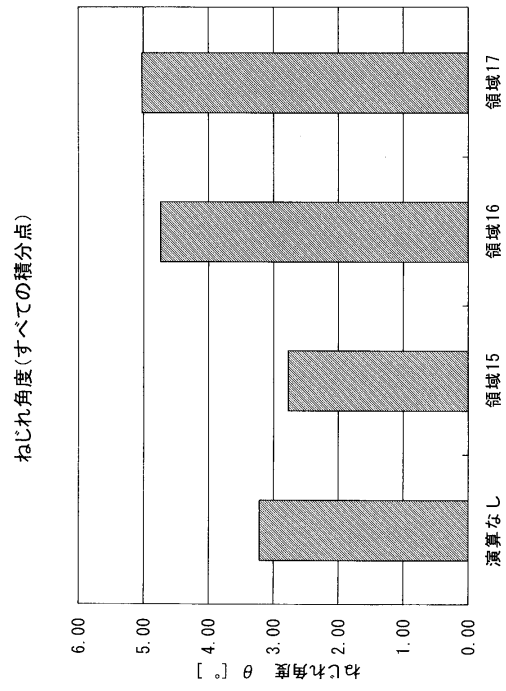
【図 17】

図17



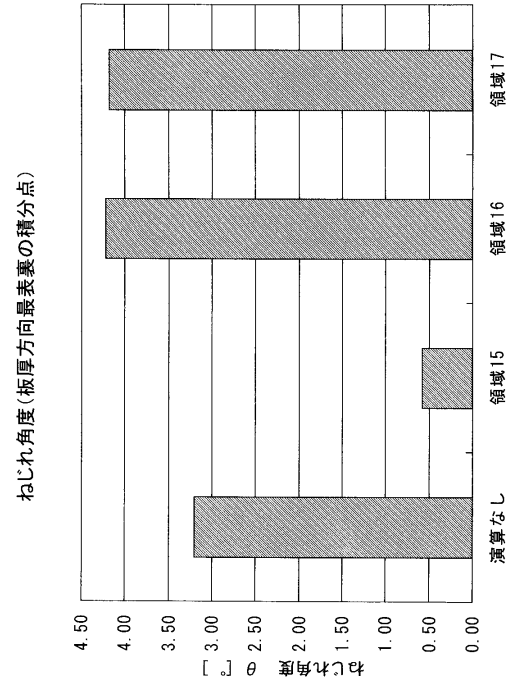
【図 18】

図 18



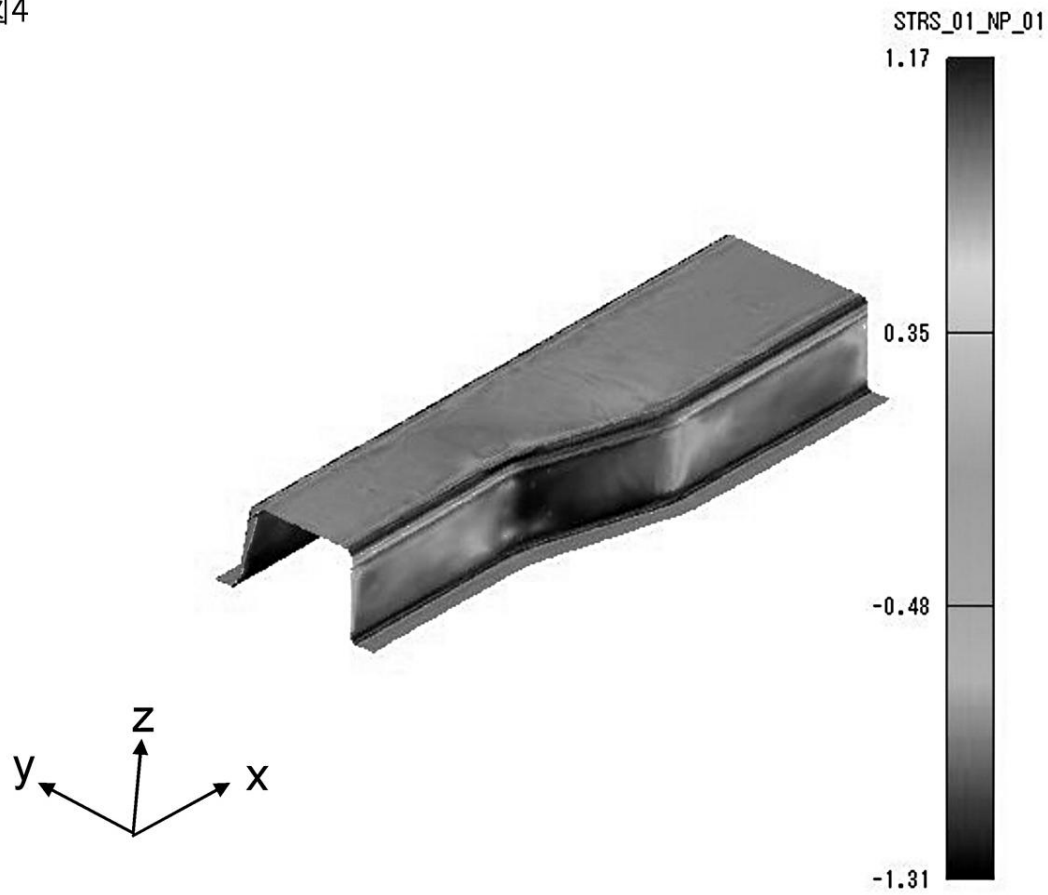
【図 19】

図 19



【図4】

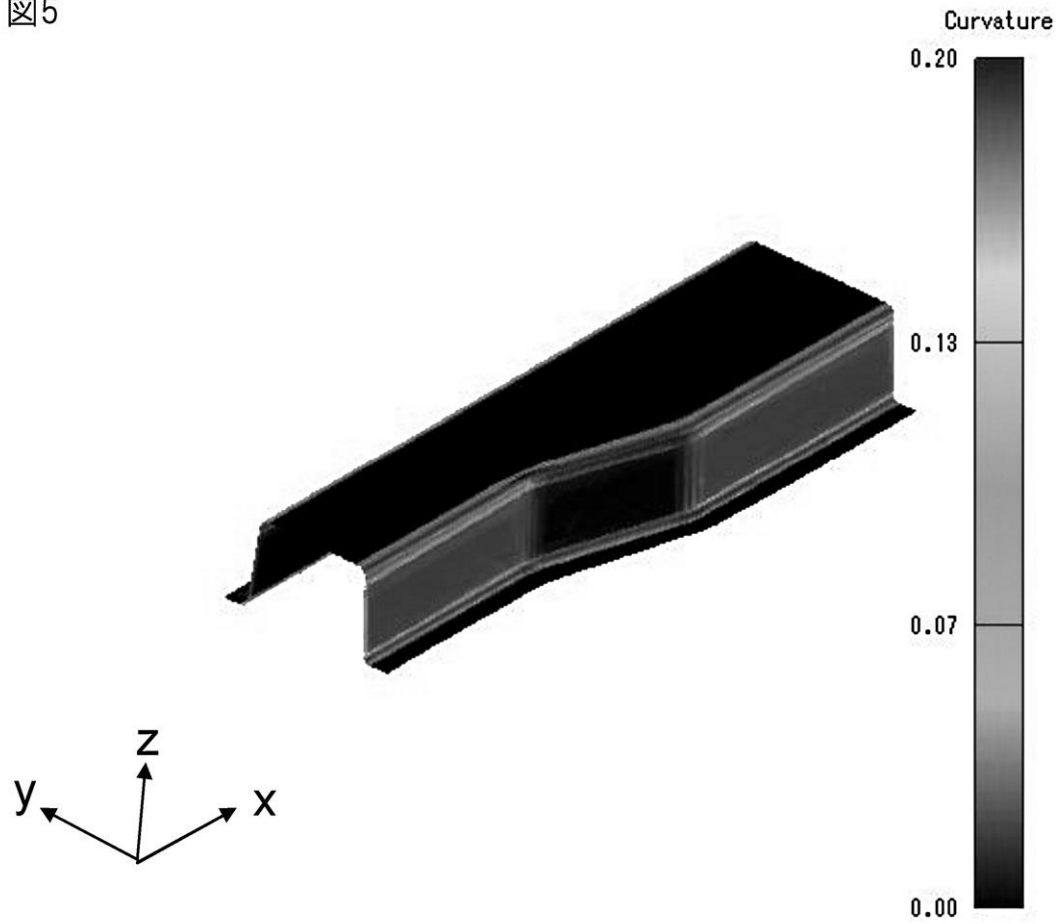
図4



プレス成形解析の結果表示図。上記は応力分布のコンタ図である。  
段差側側壁の応力レベル(絶対値)が高い。

【図5】

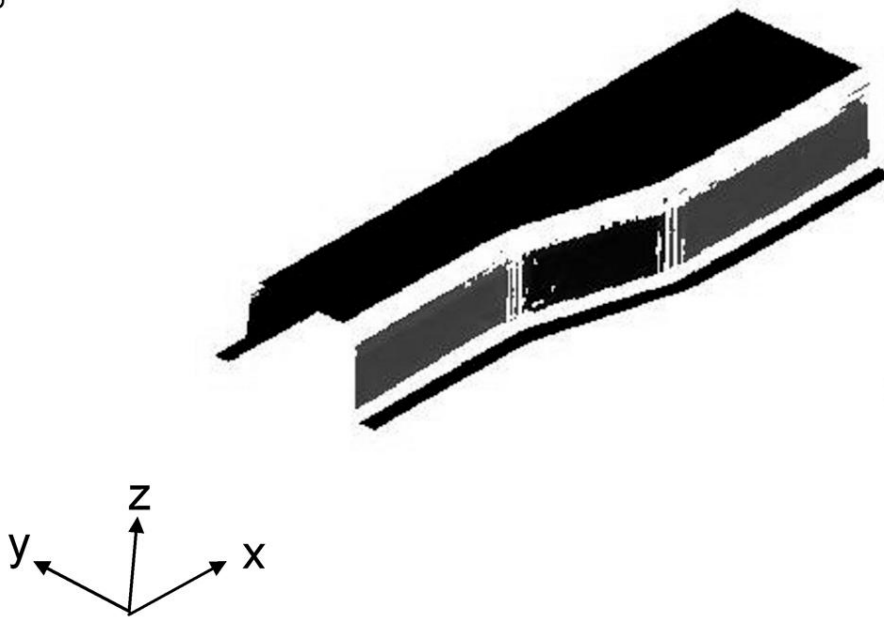
図5



プレス成形後の部材の各要素の曲率を計算・表示した。  
白色～灰色が曲率の大きい箇所。

【図 6】

図6



曲率の大きい要素を非表示とした。  
これにより、ウェブ、フランジ、側壁の各平面(領域)に分割できる。  
段差側の側壁は、3領域に分割された



## フロントページの続き

- (72)発明者 丹羽 俊之  
千葉県富津市新富 2 0 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 有賀 高  
千葉県君津市君津 1 番地 新日本製鐵株式会社 君津製鐵所内
- (72)発明者 田中 康治  
愛知県東海市東海町 5 - 3 新日本製鐵株式会社 名古屋製鐵所内
- (72)発明者 樋渡 俊二  
千葉県富津市新富 2 0 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 吉田 亨  
千葉県富津市新富 2 0 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 大丸 成一  
千葉県富津市新富 2 0 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内

審査官 宇田川 辰郎

- (56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 2 2 9 7 2 4 ( J P , A )  
特開 2 0 0 8 - 0 4 9 3 8 9 ( J P , A )  
特開 2 0 0 5 - 0 2 8 4 1 0 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 0 3 1 5 9 4 ( J P , A )

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
B 2 1 D 2 2 / 0 0  
G 0 6 F 1 7 / 5 0