

(局所材料挙動制御によるニアネットシェイプ成形技術の開発)

15 パイプ成形における局所拡管技術の開発

小鳥田博夫, 森下勇樹, 門 格史, 池田哲宏, 坂元康泰

(Development of Near Net Shape Forming Controlled Local Material Behavior)

Development of the local tube expander in pipe fabrication

KOTORIDA Hiroo, MORISHITA Yuuki, KADO Tadashi, IKEDA Tetsuhiro and SAKAMOTO Yasuhiro

To avoid forming defect like the buckling, decreasing wall thickness and the crack, the bulging deformation behaviors were calculated by the finite element method (FEM).

As a result, we understood that bulge forming could be carried out the avoiding forming defects, when the part of the bulging keeps parallel expanding to the pipe axis by using radial moving punch.

The new processing method of putting the pipe in the pipe as a radial punch was developed. The agreement between analytical results and experimental ones by using new method was generally good.

キーワード：パイプ成形, 拡管, FEM

1 緒 言

自動車などの輸送用機器では、地球環境の問題から燃費向上を目的とし、軽量化が強く望まれている。特に駆動系部品では、ねじり荷重が支配的であり、軸中心部には大きな応力が発生しないことから、中実材ではなく中空材から希望する形状に成形することが望まれている。しかしながら、中空材に軸方向の力を加えて拡管しようとする、座屈、減肉あるいは割れの不具合（以下、成形不具合）が生じる。

この問題を解決する成形方法としてチューブ・ハイドロフォーミングがある。これは、パイプ内部に気体や液体を満ちし、パイプ内部表面から外側に圧力を加えた状態で成形することにより、成形不具合を生じさせない方法である。しかしながら、この方法は成形装置が特殊となり生産コストが高いこと、そして、成形中にパイプ内部に液体や気体を密閉する必要があり、金型構造が複雑になるという課題がある。

また、成形前にパイプ内部にバックアップ材を充填したのちに成形する方法があり、その一つとして低融点合金を加熱しパイプ内部に充填したのちに冷却し凝固させ、成形中の座屈を防ぎ、成形後には、パイプを加熱し低融点合金を取り除くロスコア法¹⁾がある。しかし、この方法は充填・除去作業や加熱・冷却作業が必要となり、工程が複雑になるという課題がある。

そこで本研究では、パイプの拡管成形において、成

形不具合を回避した上で拡管成形する方法を開発した。

2 解析による検討

2.1 パイプの座屈現象

パイプの座屈を回避する方法を、MSC社製のMarcを用いて駆動系部品への適用を考慮して、まず表1の解析条件で検討した。

解析の結果は解析したものを270°回転させて立体的に表示をしている。図1にパイプに上下両端から軸方向の荷重を加えた場合の解析結果を示す。荷重を加えていくと中央部分が谷になった座屈が生じ始め、山の部分がある程度の大きさまで半径方向に膨らむとそれ以上には膨らむことができなくなり、軸方向に圧縮される。この座屈と圧縮の過程を繰り返しながら成形されていくことがわかる。

表1 成形解析条件

解析タイプ	二次元軸対称
材料	S45C
摩擦係数	0.1
パイプ長さ	262.5mm
変形部長さ	75mm

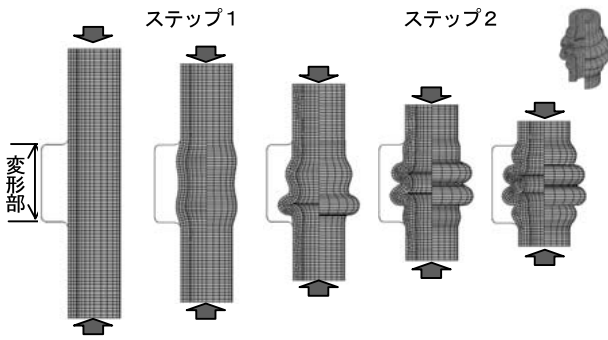


図1 軸方向にのみ荷重をかけた場合の解析結果

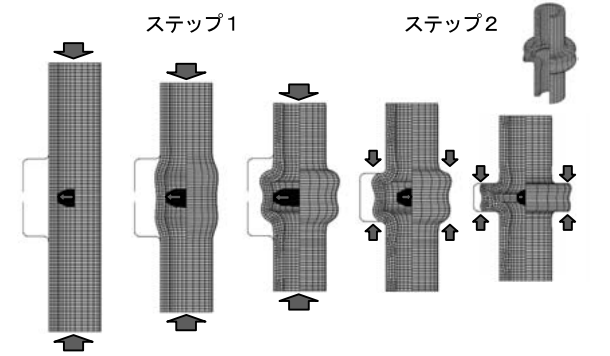


図3 半径方向パンチのタイミングを遅くした場合

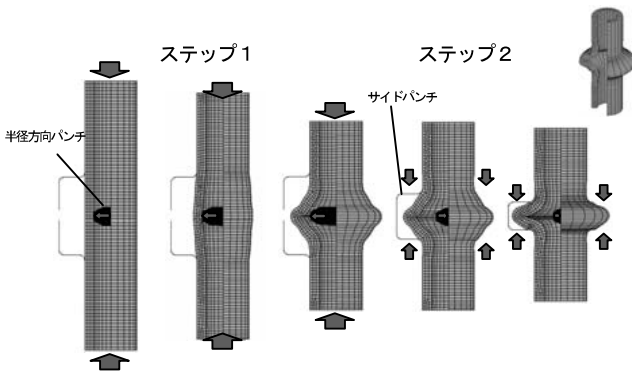


図2 半径方向パンチを用いた解析結果

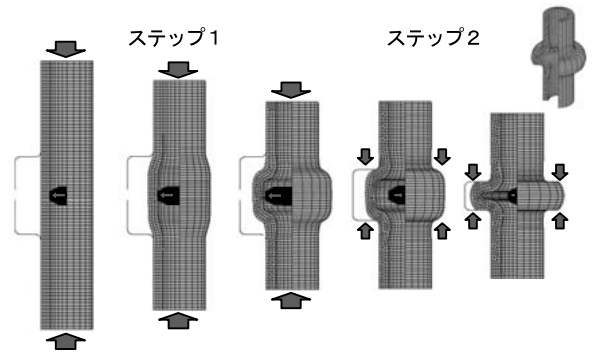


図4 半径方向パンチのタイミングを変えた場合

そこで、座屈の谷を防ぐ方法として次の方法を検討した。ステップ1で座屈の谷が発生する可能性がある箇所近傍の一部に半径方向パンチを用い、徐々に半径方向に拡大しながら、パイプ全体に軸圧方向に荷重を加える。半径方向パンチを半径方向に引っ込む方向に移動したのち、ステップ2ではステップ1で拡管した部分をサイドパンチで軸方向に押しつけ、これにより座屈あるいは割れの不具合を回避する。

図2に半径方向パンチを用いた解析結果を示す。黒で塗りつぶされた部分が半径方向パンチを示している。軸圧縮を始めると同時に座屈の谷が発生する部分を半径方向パンチで押し、押された部分から張り出しを始める。張り出された部分が軸方向圧縮に対しての強度が弱くなるため、その部分が折り曲げられるように変形して張り出している。

次に、半径方向パンチのタイミングを遅くした場合の結果を図3に示す。座屈が始まってから半径方向パンチがパイプを押し、座屈の谷の部分は半径方向に広がる荷重による変形（材料流出）が軸方向の圧縮荷重からは得られないので、最後まで谷の部分が残っている。

次に、ステップ1で、半径方向パンチで拡管部分をパイプの軸に平行になるように保ちながら成形を行った結果を図4に示す。座屈の谷が発生する部分を支え

ながら、軸に平行になるように成形させることで、軸圧縮力に対して強くなるので、加えられた圧縮力が半径方向への材料の流入に使われる。また、ステップ2においても、平行部が圧縮されながら半径方向に広がるため、減肉や折れ曲りが見られない。

つまり、拡管部分をパイプの軸に平行になるように保ちながら半径方向に拡管することで、成形不具合を回避することができる。

2.2 座屈を回避する成形法の解析による検討

半径方向パンチを実際の成形に用いる方法としてパイプの内部に分割した可動型を入れる方法²⁾があるが、型構造が複雑になるといった欠点がある。

本研究では、パイプの内側にもう一本パイプを挿入し、このパイプが変形することを利用し、座屈部を局部的に押す方法（以下、二重管成形法）を考案した。

この方法が有効であるかを表2の解析条件で検討した。荷重はパイプの上端からのみの荷重である。

解析結果は、前述のとおり3次元化して表示する。

パイプ内部に内径が小さいパイプ部材を配置し、内部のパイプが外部のパイプを半径方向の外側へ押していくタイミングが、外側のパイプの拡管部が軸方向に平行となるようにした成形法（二重管成形法）の解析結果を図5に示す。パイプ軸方向に両者のパイプに力を加えることにより、内部のパイプは外部のパイプの

表2 成形解析条件

解析タイプ	二次元軸対称
材料	S15C
摩擦係数	0.1
パイプ長さ	80mm
変形部長さ	25mm

座屈を防ぎながら局所的に拡管することが可能となっている。また、成形途中の減肉も抑制している。成形後には、内部に配置したパイプ部材は圧接され外部のパイプと一体となり、強度あるいは剛性を向上する役割を持つようになる。

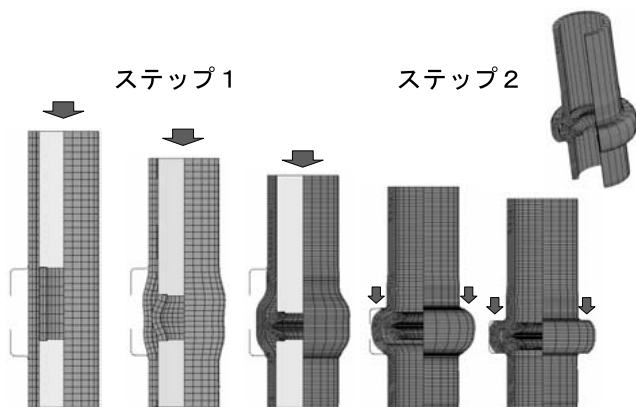


図5 二重管を用いた成形法の解析結果

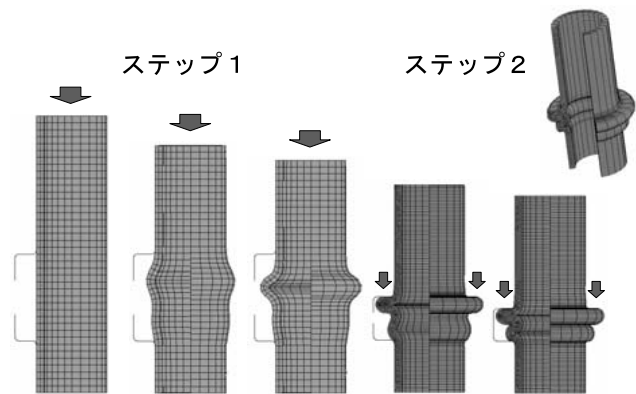


図6 二重管を用いない成形の解析結果

比較として、内部にパイプを入れない場合の解析結果を図6に示す。上端からの荷重であるため、座屈が始まると谷より上の部分が積極的に拡管する。ステップ2になると、拡管部が圧縮された後に、谷より下の部分が拡管しながら圧縮される。半径方向には最大部でパイプ直径の1.55倍まで拡管しているものの、所定の形状に成形することが困難である。

3 実験方法

解析で得られた座屈を回避する方法を実証するために実際のパイプを用いて実験を行った。

試験片材料には、公称外径 (D_1) 20mm, 公称肉厚 (T_1) 2mm の市販の継目無鋼管 STKM11A SC-AP を、内側のパイプとして公称外径 (D_2) 14mm, 公称肉厚 (T_2) 2mm の継目無鋼管 STKM11A SC-AP を用いた。

試験片には、万能引張試験機 (オートグラフ AG-I 250kN 島津製作所製) で上端から 1mm/min の等速変位を与えた。

図7に実験装置の概要を示す。パイプ長さは80mm, 変形部長さは25mmで、半径方向にはパイプの直径の1.6倍まで張出すことができるようにしてある。

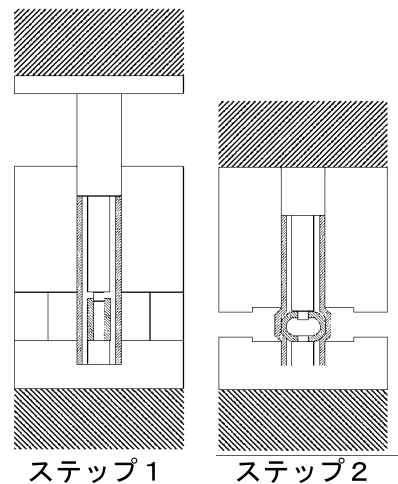


図7 実験装置の概要

成形性の評価は、図8で示すように2つの方法とした。張出し部の軸方向の厚み (T_r) は肉厚の2倍 ($2T_1$) との比 ($T_r/2T_1$) とする。半径方向の張出し部 (D_f) はパイプの直径 (D_1) との比 (D_f/D_1) とする。

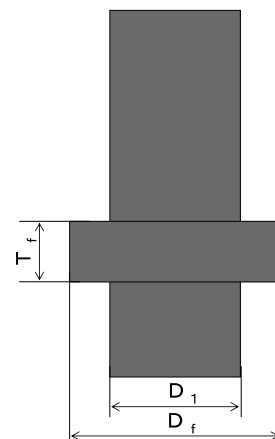


図8 成形品の評価方法

4 実験結果と考察

図9に二重管成形法での成形過程を示す。ステップ1で12mm押し込んだ後に、サイドパンチで拡管部を押し込んだものである。



図9 二重管成形法による成形過程

解析で得られたように、内部のパイプが外部のパイプの座屈を抑制し、軸方向にほぼ平行となるように成形している。

図10に最終成形品を切断したものを示す。内部のパイプは外のパイプと圧着され一体化している。また、内部のパイプには目視上割れは発生していない。

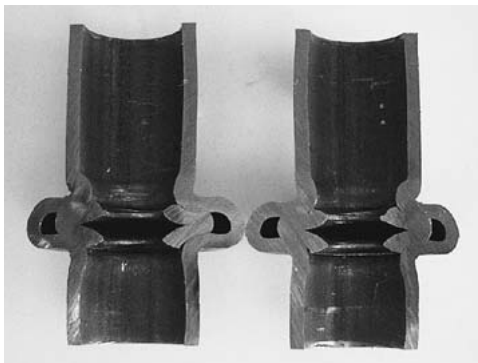
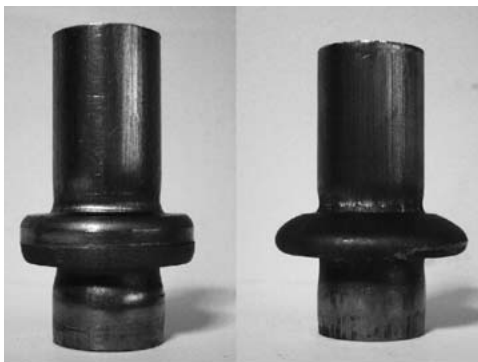


図10 最終成形品を切断したもの



(a) (b)

図11 成形品の例

表3 成形結果

押し込み量(mm)	厚み比 $T_f/2T_1$	張出し比 D_f/D_1
12	2.15	1.6
16	1.0 (先端部)	1.8

ステップ1で12mm押し込んだ後、ステップ2で半径方向へ拡管した場合の張り出し部分の厚み比 $T_f/2T_1$ は2.15になった(図11(a))。また、ステップ1で16mm押し込んだ後、サイドパンチに半径方向への広がりに制限をつけなければ張出し比 D_f/D_1 は1.8まで張り出すことができた(図11(b))。

張出し比の限界は低炭素鋼鋼管の場合1.4程度とされており³⁾、従来の成形法と比較してかなりの張出し比の向上が見られる。

5 結 言

パイプの拡管成形において、座屈あるいは減肉、割れの成形不具合を回避した上で所定の形状に拡管成形する方法を検討した。その結果、拡管部分をパイプの軸に平行になるように保ちながら半径方向に拡管することで、成形不具合を回避することができることがわかった。

この成形不具合する成形法として、パイプの内部にパイプを入れる二重管成形法を開発した。

実際のパイプ成形にこの成形法を用いて拡管し、半径方向の張出し部 (D_f) はパイプの直径 (D_1) との比 (D_f/D_1) 1.8まで成形することができた。

文 献

- 1) 大橋隆弘他：平成12年度塑性加工春季講演会論文集，261
- 2) 特許開平7-32052
- 3) 東美晴他：プレス技術，17-8 (1979)，77