

## 焼嵌めにより引張予応力を導入した部材の圧縮強度に関する解析的検討

東京工業大学 正会員 ○阿久津 絢子  
 東京工業大学 正会員 佐々木 栄一  
 東京工業大学 非会員 戸塚 州太郎

### 1. はじめに

鋼材は強度が高く加工性に優れた材料であるが、細長い部材として薄肉断面により構成される場合、圧縮力や曲げにより座屈を招く可能性がある。構造設計において座屈問題はますますその重要性が認識されており、座屈を引き起こさない新しい考えに基づいた部材の開発は部材の挙動を単純化させ、構造物の設計を容易にさせる新しい構造の創造に繋がる可能性がある。

柱部材の座屈は図-1 に示すオイラーの座屈曲線を用い、部材の細長比と圧縮応力の関係で検討される。ここで本研究では座屈への対策として部材に予め引張力を導入し、図-1 における縦軸の引張側の状態にすることにより圧縮強度に変化を及ぼすことができるのではないかとこの着想を得た。本研究では焼嵌めの考え方を応用し、圧縮力を受ける部材に引張予応力(プレストレス)を導入した新たな部材を考え、引張予応力の導入方法を提案するとともに、その部材の圧縮強度について検討することを目的とし、検討を行った。本稿では、解析的に検討した内容について示す。

### 2. 引張予応力導入方法の基本構想

部材の座屈を抑制する技術として、ブレース材をモルタルや鋼板により拘束し、ブレース材のエネルギー吸収能力を向上可能な座屈拘束ブレースが挙げられるが、本研究では新たな部材として焼嵌め<sup>1)</sup>を応用した部材作成について考える。焼嵌めは、径の異なる二つの円筒のはめ合い方法の一種で、内円筒よりも径の小さな外円筒を加熱膨張させて嵌め合わせる方法である。嵌め合わせの際に生じる両円筒間の面圧により径方向・周方向の応力が生じる。さらに外円筒が常温に戻る過程で生じる内円筒との温度差により、両円筒が接触するタイミングで軸方向の収縮が拘束され、軸方向の応力も導入される。本研究では座屈拘束ブレースの機構からヒントを得て、圧縮を受ける部材へ焼嵌めで生じる軸応力を導入した新たな部材の提案を試みる。

引張予応力の導入には部材の温度変化によって生じる温度応力を利用する。図-2 に焼嵌めによる軸力導入の概略図を示す。図-2 に示すように、加熱した外管を内管と嵌め合わせた後、外管は冷却する過程で収縮し、その変位は内管との摩擦により拘束される。この時、軸方向の変位も拘束されるので、外管には軸方向に引張応力が生じ、逆に内管は軸圧縮応力を受ける。

### 3. 焼嵌めによる引張予応力導入方法の解析的検討

#### (1) 解析条件

解析は、SS400 材の鋼製二重管を対象とする。弾性座屈を想定し、ターゲットとして細長比 $\lambda=120$ と設定し、外管の板厚と径を決定する。内管の長さは載荷時の外管の変形量を考慮し、内管が荷重を直接受けないように外管よりも短く設定する。また、鋼材における焼嵌めの径差は一般に外管内径の  $1/1000$  が適当であるとされているため、本解析においてもその値を採用した。この径差を締め代 ( $\delta$  と表す) としている。表-1 鋼管寸法、表-2 に材料特性を示す。また、図-3 に解析対象の概略図と解析モデルを示す。本解析は  $1/2$  軸対象モデルを用い、両管は締め代分だけ食い込むように作成している。

本研究では、管の変形状態に応じた温度条件の複雑

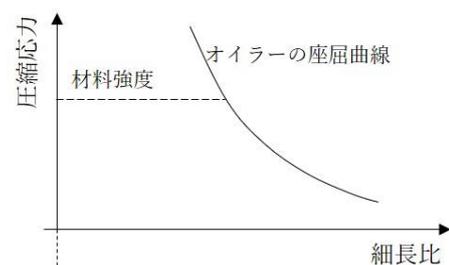


図-1 細長比-圧縮応力関係

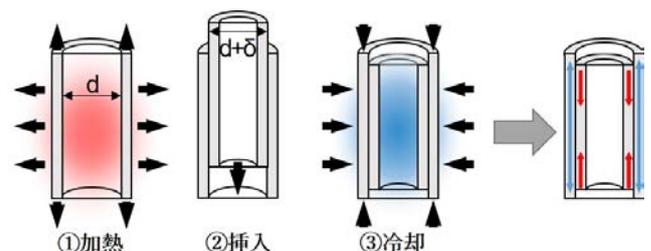


図-2 焼嵌めによる軸力導入の概略図

キーワード 圧縮構造, 焼嵌め, 座屈, 新構造

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 緑ヶ丘 1 号館 TEL 03-5734-3478

さを考慮し焼嵌め工程を単純化させる。焼嵌め過程の温度変化は常温(ステップ0:内管・外管ともに20°C)、外管加熱(ステップ1:内管20°C, 外管300°C)、全体を常温まで戻す(ステップ2:内管・外管ともに20°C)の3つのステップに分け、解析ステップごとに温度を変化させることで再現する。さらに本研究では焼嵌め完了後に外管のみに圧縮荷重を与え、軸引張力を受ける外管の圧縮荷重下における挙動の把握を行う。

## (2) 解析結果

図-4 に焼嵌め完了時の軸応力分布を示す。図-4 より、外管には引張応力、内管には圧縮応力が管中心(Y=0mm)から管端側(Y=120mm)まで一様に分布していることが確認された。Y=120mm 付近から管端(Y=150mm)にかけて徐々に軸応力は減少し、管端では0MPaとなる。以上のことから、Y=120mm~150mmの部分に生じる摩擦が外管の収縮を拘束していると考えられる。

図-5 に焼嵌め後、外管に圧縮荷重を与えた時の軸応力変化を示す。圧縮荷重は最大で200MPaとし、応力は管中心(Y=0mm)での値である。外管が圧縮を受けると焼嵌めで生じた軸応力を保持した状態で、摩擦の影響により内外管全体で圧縮荷重を受けるが、図-5 では摩擦が生じる面の面積を小さくすることで、内管の受ける圧縮応力を低減させている。解析により摩擦係数を0とした面を管中心(Y=0mm)から120~140mmとして設定した。摩擦が生じる面が小さい時は、ある圧縮荷重を超えた瞬間から外管が圧縮荷重を大きく負担し、内管は軸圧縮応力が減少することが確認された。これは摩擦面が受け持つことのできる荷重には限界があり、これを越えたために徐々に滑り始めたことによると考えられる。これらの結果から、焼嵌めされた鋼管の外管に圧縮荷重を加えると、生じた軸応力を保持したまま鋼管全体が圧縮荷重を受けるが、摩擦が生じる面を小さくすることによって、ある荷重以上から外管のみに荷重が作用し、内管は荷重分担が上昇しなくなる傾向となることが確認された。実際の製造では、摩擦が生じない面の範囲だけ内管径をわずかに小さくし、アンボンド処理をすることで再現可能であると考えられる。

## 4. まとめ

本研究では新しい構造部材として、圧縮力を受ける部材に焼嵌めにより引張予応力を導入した部材を考え、引張予応力の導入方法および圧縮強度について解析的に検討した。焼嵌めにより外管に引張予応力を導入す

表-1 鋼管寸法

	長さ [mm]	内径 [mm]	外径 [mm]
内管	298	4.6066	6.6066
外管	300	6.6	7.6

表-2 材料特性

密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	7.85
降伏応力 [MPa]	245
引張強度 [MPa]	400
ヤング率 [GPa]	206
ポアソン比	0.3
線膨張係数 [10 <sup>-6</sup> /°C]	11.8

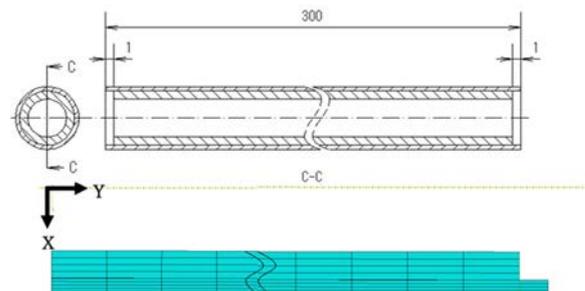


図-3 解析対象の概略図と解析モデル

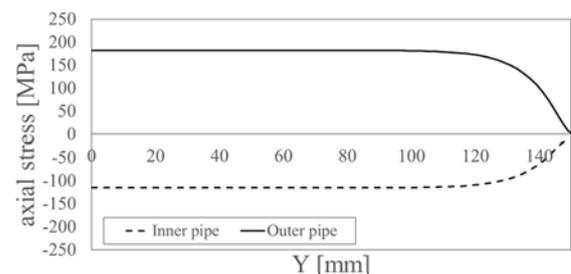


図-4 焼嵌め完了時の軸応力分

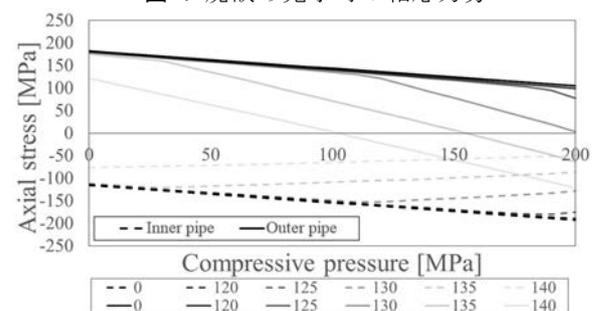


図-5 外管に圧縮荷重を与えた時の軸応力変化

ることが可能であり、この引張予応力が圧縮強度に到達するまでのマージンとなる可能性が示された。本研究では施工性を考慮し、ABSにより模擬した焼嵌めおよび屈曲実験を行っており、提案する新しい構造部材のより詳細な検討を行っていく予定である。

## 参考文献

- 1) 千野博孝, 三牧雅子, 高田信宏: 焼きばめ型二重管のはめ合い応力のFEM解析とはめ合い応力の及ぼす作用外力の影響度解析, 圧縮技術, Vol.38, No.1, pp.20-31, 2000.