

セラミックス押出し成形における材料流動の可視化と金型設計への適用

生産技術部 ○桑原田 聡, 牟禮雄二

1. はじめに

セラミックスの押出し成形では、金型内部の材料の流動状態が成形不良や内部欠陥に影響を及ぼすことが知られているが、複雑な粘弾性挙動を解析する実用的評価方法は確立されておらず、金型設計者の経験則や原料の水分や添加剤等の配合量で調整しているのが現状である。

そこで本研究では、金属の塑性加工の分野で有用な実験シミュレーション手法と独自の材料流動可視化システムを用いて、セラミックス押出し成形における型内部の材料流動の可視化実験及び解析を行い、金型形状の適用について検討したので報告する。

2. 材料流動可視化システムの概要

図1に材料流動可視化システムの概略図を示す。同システムは2台のX線発生器とX線カメラ、押出し加工装置、回転台、機器制御装置およびパーソナルコンピュータで構成されている。実験で使用する試料内部には、材料流動をX線画像で可視化する際の指標（以下、トレーサ）が複数個埋込まれている。押出し実験で成形時のトレーサの移動量は、左右2つのX線発生器の照射タイミングを制御して撮影されたX線画像を処理して3次元位置座標を算出することが可能となる。

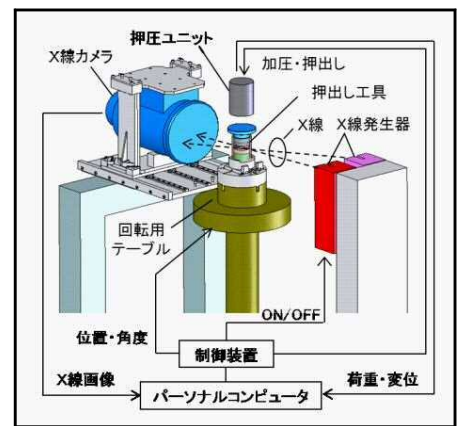


図1 材料流動可視化システムの概略図

3. 押出し成形用モデル型と実験条件

今回、円柱形状（φ40×40mm）から外径10×10mm、肉厚1.5mmの中空角棒材に押出し成形する際のモデル型内部における材料流動状態を可視化解析した。実験に使用したセラミック材料は、高純度アルミナで、水、バインダー、潤滑剤等を配合して加圧ニーダと押出成形機を用いて試料を作製した。図2にモデル型の形状と押出し工程における成形状態の概念図を示す。予備試験として、試料を半分割して内面に5×6.6mm間隔の格子線を引き、その交点にφ1.2mmのトレーサを埋め込んで押出し実験

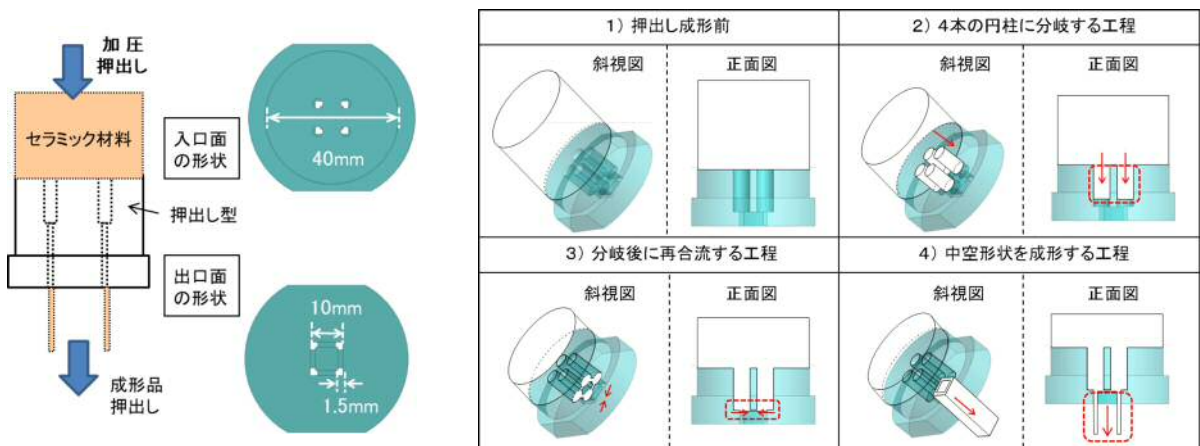


図2 押出し型の形状と押出し工程での成形状態の概念図

を行った。X線管の出力は電圧100kV、電流0.1mAで撮影したときのX線写真と半分割した材料写真を図3に示す。同図のX線写真からトレーサが十分に視認でき、かつ材料写真から格子線の交点と同じ位置で移動していることから、材料の塑性流動と同様の動きをすることが確認できた。そこで、材料流動を計測するために円柱形状(φ40×40mm)を10mm間隔で4分割し、それぞれの底面にトレーサを規則的に配置して0.1mm/sの加圧速度で押し出し実験を行った。

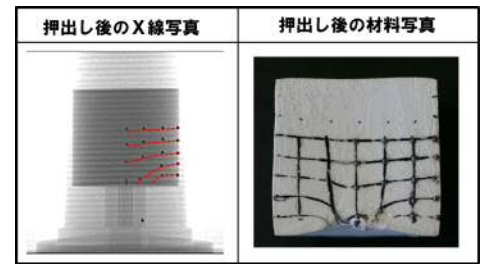


図3 流動性の確認試験結果

4. 可視化結果と考察

図4に押し出し成形過程を撮影したトレーサの2次元X線画像と解析結果を示す。同図では、左右2台のX線カメラによる画像中のトレーサ位置を検出し、立体計測法により3次元位置座標を算出した。図5に押し出し開始から96秒後のトレーサ位置と速度ベクトルを算出した結果を、図6にモデル型の内部を通過したトレーサ速度を詳細に検討した結果を示す。図5において、矢印の向きがトレーサの進む方向を示し、矢印の長さは速度に対応している。このため、矢印が長いほど高速で移動していることを示す。図6の結果から、0.1mm/sで押し出されていた材料が、Ⅱの4本の円柱内では約0.9~2.5mm/s(図2の2工程)、Ⅲの出口付近の中空角棒材が押し出される最終過程(図2の4工程)では、約30倍に相当する2.7~3.3mm/sと速度が上昇していることがわかった。このときの四角形の断面内で比較すると角付近(V部)の押し出し速度が中央付近(Ⅳ部)よりも速い傾向を示していた。

以上のことから、モデル型の入口面形状な内部構造等を調整し、材料の流速差を少なくすることが金型設計の最適化において重要であることがわかった。

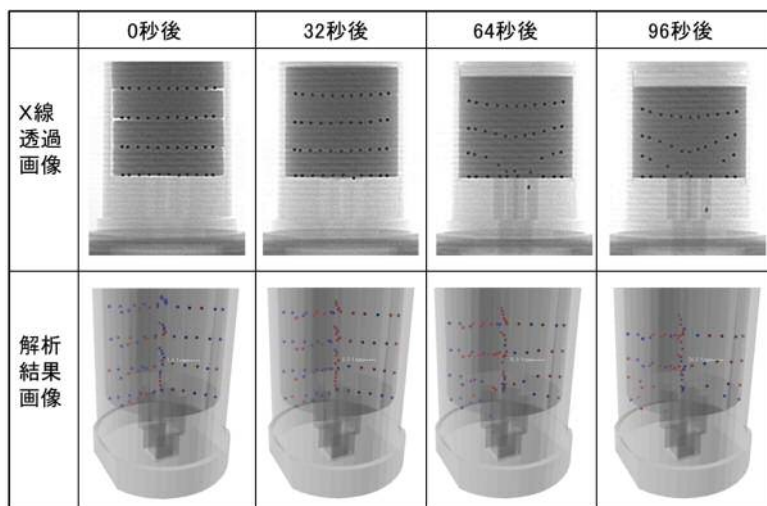


図4 押し出し成形過程のX線画像

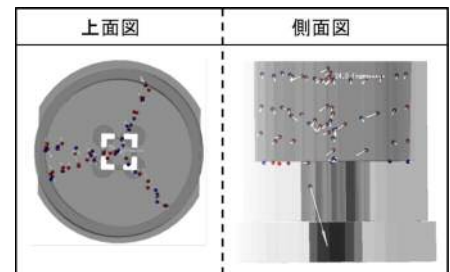


図5 速度ベクトル解析結果

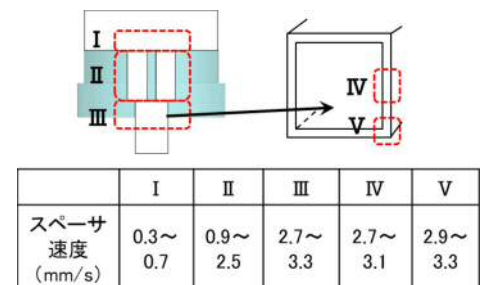


図6 速度解析領域とトレーサ速度

5. おわりに

金属材料の圧造・押し出し加工において実績のある材料流動可視化システムを、セラミックス中空部品の押し出し成形へ適用し、一連の可視化実験および解析によって金型内部における材料流動を定量的に、詳細に解明できることを確認した。これらの実験および解析結果から、成形用金型の最適化設計や成形不良の原因究明などに有用であることがわかった。