

# 材料流動の変化に着目した 新しいねじれ形状制御押出し加工法の開発

福井大学 工学部先端科学技術育成センター  
助教 新川真人  
(平成 18 年度研究開発助成 AF-2006029)

キーワード：押出し加工，ねじれ形状制御，材料流動，ニアネットシェイプ

## 1. はじめに

押出し加工は、従来より棒・管・異形材等、一様な断面を有する長尺材の製造方法として広く用いられている。一方、工業製品は安全性、機能性及び意匠性等の観点から様々な曲げ・ねじれ形状を有している。押出し加工によりそのような工業製品を製造する場合、一般に押出しによる 1 次加工の後、矯正加工・曲げ加工・切削加工等による 2 次加工を行い、熱処理・表面処理を施すというプロセスを経て製品として供給される。しかしながら、製造コストや製造エネルギーの削減等、社会からの要求に対応する技術の開発が囑望される状況において、2 次加工を省略・簡略化することは極めて有力な手段である。このような状況の中、押出し加工の分野においても、可変断面押出し技術<sup>1)</sup>、曲げ制御技術<sup>2), 3)</sup>及びねじれ制御技術<sup>4)~6)</sup>等従来になかった新しい押出し加工技術について積極的に検討が行われ始めている。

本研究では、加工中の材料流動に変化を与えることによって、押出しと同時に押出し製品のねじれ形状を制御する新しい押出し加工法の実現を目的としている。まず、パイプの外周及び内周に螺旋形状の歯を有する製品について、モデル材による基礎的な特性を調査した。次に、小径軸の外周に螺旋形状を有する製品について、アルミニウム熱間押出しを実施することによって考案した押出し加工法の有効性について検討した。

## 2. 螺旋歯付パイプ押出し加工法

図 1 に、今回考案した螺旋歯付パイプ押出し加工法の概略図を示す。本加工法は、製品の形状に一致する孔を有するダイスを孔の半径方向に放射状に分割し、それらを、ねじれを付与するために押出し方向に対して交互に段差（以下、ダイス段差  $h$ ）を設けて配置し、その状態で押出しを実施することによって加工中の材料流動（メタルフロー）に変化を与え、所望の製品形状に成形するものである。なお、パイプ内周に螺旋歯を成形する場合は、マンドレル先端部に成形ダイスを取り付け、外周歯成形時と同様にダイスを分割、スライドさせることによって成形を行った。

## 3. 実験方法

素材としては、外径 30mm、内径 14mm、長さ 60~80mm

のカラークレイ製パイプを用いた。実験素材は、パイプ寸法と同じ寸法を有するダイスとマンドレルを用いて押出しにより作製した。カラークレイの変形抵抗  $\sigma$  は、相当塑性ひずみ  $\epsilon$  に対して、 $\sigma=0.25\epsilon^{0.08}$ MPa（室温 22℃）で与えられる。

コンテナ、マンドレル及びダイスの材質は、A2017S 及び SS400 であり、いずれも機械加工により所定の寸法に仕上げた後に使用した。その際、ダイスベアリング部長さは 3mm としている。図 2 に、実験に使用した押出し装置を示す。

カラークレイによる外周及び内周螺旋歯付パイプの押出し実験は、パイプ肉厚  $t=1$ mm、成形歯の高さ = 4mm、幅

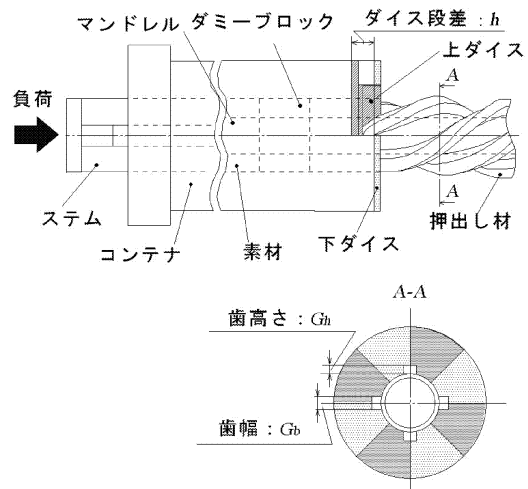


図 1 螺旋歯付パイプ押出し加工法概念図

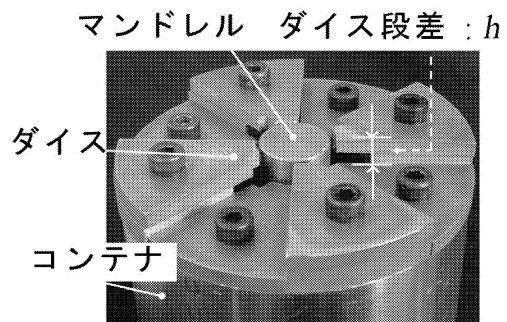


図 2 実験装置（ダイス出口孔付近）

=3mm とし、ダイス段差  $h$  を 3~8mm, ステム速度  $V_s$  を 5~100mm/min, 歯数  $z$  を 2, 4 と種々変化させて実施した。

実験は、素材をコンテナに装填したのち、30kN 万能材料試験機により準静的に押し出す方法で行った。このとき、押し出しの負荷形態としては、前方押し出しとなる。また、潤滑は素材とコンテナに石鹸水を塗布する方法を採用しており、そのときの摩擦係数をリング圧縮試験<sup>7)</sup>により測定した結果、およそ 0.2 (室温 22°C) であった。なお、実験時の気温は 16°C~27°C である。

#### 4. 螺旋歯付パイプ成形実験

##### 4.1 内周螺旋歯付パイプ押し出し

図 3 (a), (b) に、ステム速度  $V_s=20\text{mm/min}$ , 歯数 4 とし、ダイス段差を 3, 8mm と変化させたときの押し出し材の変形状態を示す。成形されたパイプの内周部に螺旋状の歯が形成されている様子が確認できる。

図 4 に、押し出し材螺旋歯の比ねじれ角とダイス段差の関係を示す。ダイス段差の増加によって、比ねじれ角は急激に増加している様子が分かる。また、今回の成形条件の範囲内では、ステム速度が歯のねじれ量に及ぼす影響は小さいといえる。

##### 4.2 外周螺旋歯付パイプ押し出し

図 5 (a), (b) に、ステム速度  $V_s=20\text{mm/min}$ , 歯数 4 とし、ダイス段差を 3, 8mm と変化させたときの押し出し材の

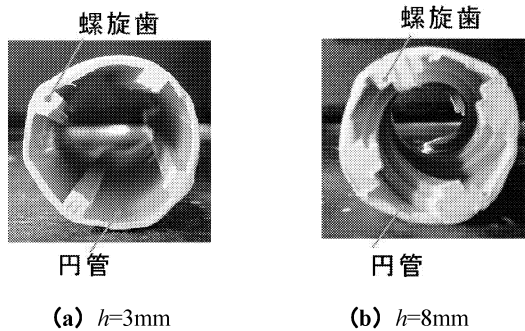


図 3 内周螺旋歯の成形状態  
( $V_s=20\text{mm/min}$ , 歯数=4)

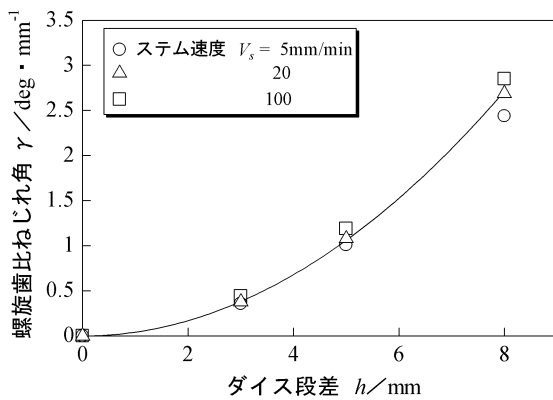


図 4 内周螺旋歯の比ねじれ角とダイス段差の関係

変形状態を示す。外周部に螺旋状の歯が形成されており、そのねじれ量はダイス段差により違いがあることが確認できる。しかしながら、成形条件によってはパイプが楕円状に成形される、または破断している等良好な成形ができない場合があった。このことは、本加工法において成形限界が存在していることを示している。

図 6 に、ステム速度  $V_s=20\text{mm/min}$ , 歯数 4 としたときの成形された歯の幅及び高さとの関係を示す。ダイス段差の増加に伴って、歯の幅は増加している様子が分かる。一方、歯の高さはそれほど変化していない。また、パイプの肉厚寸法は若干の減少が認められるものの、歯の幅寸法の増加分を補うほどではなかった。これらのことから、歯の幅が増加した理由としては、材料がダイス孔から流出する際の角度が、ダイス段差の変化に伴って変化したためであると考えられる。

##### 5. 薄肉歯小径軸螺旋押し出し

小さな螺旋形状製品を成形することは工業上極めて有益であると考えられる。今回考案した押し出し方法により小径軸の螺旋押し出しを実施した結果、それほど大きなねじれを付与することができなかった。また、歯のサイズも小さ

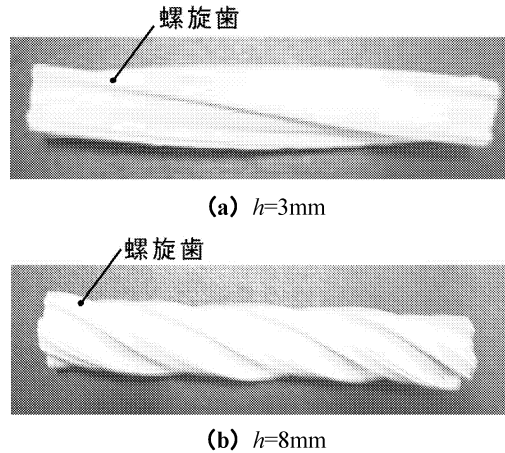


図 5 外周螺旋歯の成形状態  
( $V_s=20\text{mm/min}$ , 歯数=4)

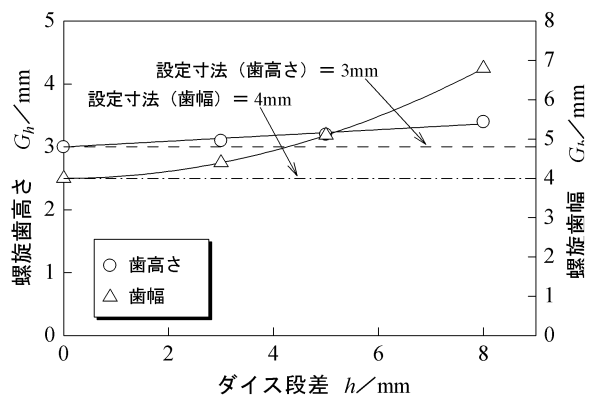


図 6 外周螺旋歯の各寸法とダイス段差の関係

く出来なかった。そこで、考案した押し出し方法の成形原理を応用し、さらに大きなねじれ付与と歯のサイズの縮小化ができないか検討した。

### 5.1 成形方法概念

前項までの結果、押し出し時の材料の流出角度がねじれ量に大きく関係していることが推察された。そこで、新たにより大きな流出角度が実現できる押し出しダイスを考案した。図7に、新たな押し出しダイスと成形時のダイスの配置状況を示す。ダイス孔のうち、歯が形成される部分の開き角度を30(以下、ダイa)、90(以下、ダイb)、150(以下、ダイc)°とそれぞれ異なる角度を有している。また、成形時の押し出しダイスは、上、中間及び下ダイスの3つの組み合わせにより構成されており、ダイス孔の開き角度の異なるダイスの組み合わせにより材料のダイス孔入口から出口への流出角度をより大きくすることを可能とした。

また、管を成形する際のダイスを材料が流動する方向に回転させることによってより大きなねじれを付与した。図8に、実験装置を示す。このとき、ダイスはステッピングモータにより回転数を制御している。

### 5.2 カラークレイによる成形実験

図9に、ステム速度  $V_s=10\text{mm/min}$ 、ダイスの組み合わせをダイb-ダイb-ダイc(上-中間-下ダイス)とし、ダイス回転速度  $V_d=2.5, 12.5\text{rpm}$ と変化させたときの押し出し材の変形状態を示す。軸の外周には薄肉の螺旋歯が形成されており、またねじれ量にも違いが確認できる。

図10に、薄肉螺旋歯の比ねじれ角とダイス回転速度との関係を示す。ダイスに回転を与えることにより大きなねじれが発生しており、その値はステム速度により大きく異

なっていることが分かる。このことは、前項の結果とは異なるが、小さなサイズの製品の螺旋成形の際にはステム速度が大きな影響因子になることを示している。

### 5.3 アルミニウムによる小径軸螺旋押し出し実験

これまでの結果から、考案した押し出し加工法のねじれ形状制御特性について明らかにした。しかしながら、いずれもモデル材による検討であり、考案した押し出し加工法の有効性を明らかにする上では実材料による成形は不可欠である。

そこで、 $\phi 5 \times 30$ の純アルミニウム(A1070)の熱間押し出し成形実験を実施した。実験装置(コンテナ、ダイス等)はいずれも熱間工具鋼(SKD61)で製作し(図11参照)、ダイスは熱処理後に使用した。また、押し出しビレットは300°Cに加熱しており、セラミックウールで断熱した実験装置をカートリッジヒータにより加熱することにより実施した。

図12に、成形された押し出し材を示す。軸周りに螺旋状の歯が形成されていることが確認できる。このことは、今回考案したねじれ形状押し出し加工技術が、実材料の成形にも十分有効であることを示している。図13に、荷重-ストローク曲線を示す。

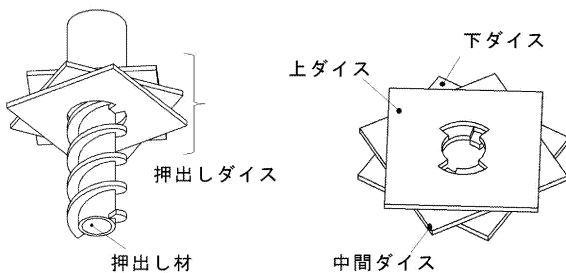


図7 ダイス配置状況

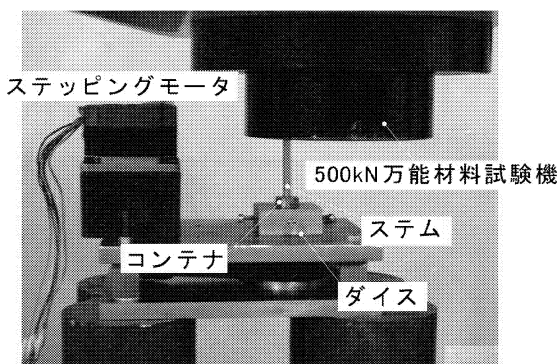
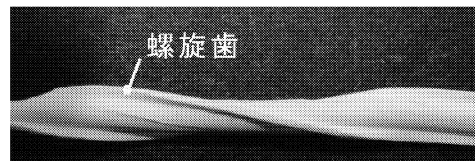


図8 実験装置外観



(a)  $V_d=2.5\text{rpm}$



(b)  $V_d=12.5\text{rpm}$

図9 薄肉螺旋歯成形状態

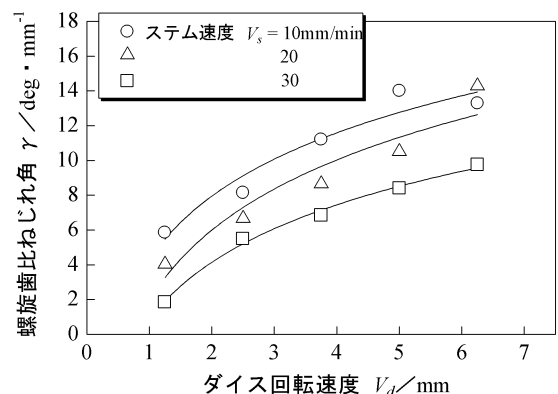


図10 薄肉螺旋歯の比ねじれ角とダイス回転速度の関係 (ダイb-ダイb-ダイc)

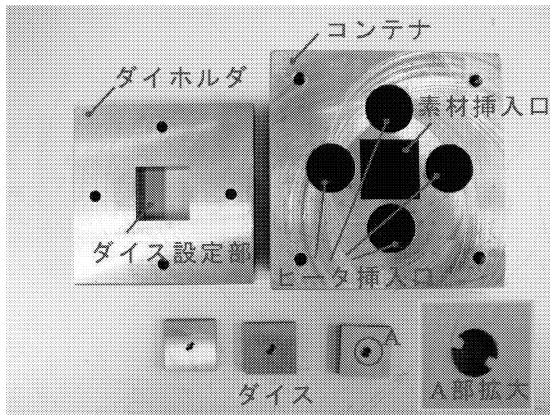


図 11 熱間押し装置

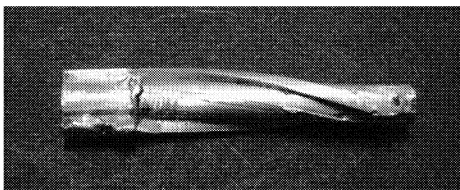


図 12 アルミ押し材

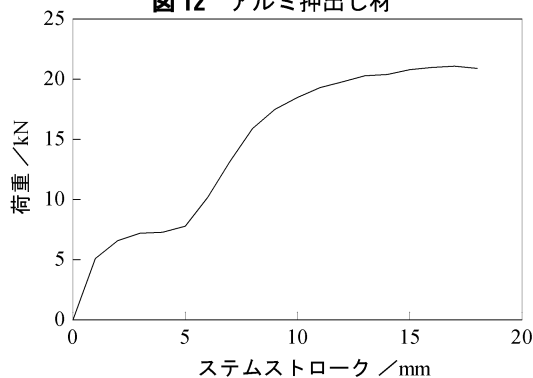


図 13 荷重-ストローク曲線

## 6. 結言

押し出し加工の過程において、ねじれ形状の制御を可能とする新しい押し出し加工法を考案し、カラークレイ及びアル

ミニウムにより円管及び小径軸に螺旋状の歯を形成する押し出し実験を実施することによってその有効性を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 押し出し加工によりねじれ形状を成形することが可能である。
- (2) 押し出された螺旋状の歯の寸法は、ダイス段差の増加に伴って、高さはそれほど変化しないが、幅は増加する。
- (3) ダイス孔から素材が流出する方向に一致するようにダイスを回転させることにより、大きなねじれが発生する。
- (4) 小径軸にねじれを付与する場合、そのねじれ量はシステム速度により大きく変化する。
- (5) アルミニウム (A1070) に対しても本押し出し加工は有効である。

今後は、押し出し製品の高精度化、マイクロ化について検討するとともに、より大きなねじれを付与するための成形プロセスについても検討していく予定である。

## 謝 辞

本研究は、平成 18 年度天田金属加工機械技術振興財団研究開発助成のご支援のもとで遂行されました。ここに深く感謝いたします。また、本研究の遂行にあたり有益なご助言を頂きました。福井大学大学院工学研究科 白石光信教授に厚く謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 例えば、加藤雅嗣：平 10 塑加春講論，(1998)，367-368.
- 2) 星野倫彦・小原嗣朗：平 5 塑加春講論，(1993)，431-434.
- 3) 白石光信・新川真人・山口正史：塑性と加工，40-462 (1999)，683-685.
- 4) 水沼晋：平 15 塑加春講論，(2003)，119-120.
- 5) 高辻則夫・東信行・松木賢司・室谷和雄・會田哲夫・長谷川豊：第 55 回塑加連講論，(2004)，443-444.
- 6) 白石光信・新川真人：塑性と加工，42-485 (2001)，593-595.
- 7) 小坂田宏造・白石光信・村木重節・徳岡雅康：機論 C，55-516 (1989)，2213-2220.