

## 製品紹介

## 油圧シリンダ用バテッドチューブの開発

平井 達也

## 1 はじめに

油圧シリンダは、主に伸縮運動をするシンプルな部品であるが、油圧システムにおいて重要な役割を担っている。

油圧シリンダの特長としては、電気式や空圧式アクチュエータと比較し、小型ながらも比較的大きな力を発揮できることや、耐久性が高いこと、メンテナンス性が良いこと等が挙げられる。それゆえ建設現場や採掘場、廃棄物処理場等の過酷な状況下でも活躍することができる。

しかし、強大な力を発揮することと耐久性を両立させるためには、構成部品に十分な強度をもたせることが必要になる。とはいえ、単純に部品を厚肉にするだけでは、重量が増えるといった問題が起きてしまう。そこで、従来の性能と耐久性を確保しながらも、軽量かつ歩留まり向上を狙ったシリンダの開発を行ったので紹介する。

## 2 開発背景

KYB-YS（以下YS）では、1980年頃に建機用油圧シリンダの生産を開始して以降、度々モデルチェンジを行ってきた。初期型と呼ばれる最初のモデルは、完全個別設計を行っていたため、多種多様なシリンダが存在し、個別部品も多数存在していた。そこで、1988年頃にお客様の要求仕様に影響がないシリンダヘッドやピストンといった内蔵部品（図1）の統合化を行い、これをNY-1モデルとした。

2002年頃には、KYBの設計したKCM（KYB Cylinder Mid Pressure）5型をベースとしてYS独自のアレンジを加え、NY-1（20.6MPa仕様）よりも高圧での使用を可能としたNY-2モデル（24.5MPa仕様）を開発した。これに様々なコスト低減案件を盛り込んだものが現在主流となっているNY-3モデルであり、NY-4モデルはピストンロッド内配管シリンダを指す。

本テーマであるバテッドチューブは、上記の後継であるNY-5モデルに盛り込まれた要素の1つである。（バテッドチューブの詳細は3項参照）

油圧シリンダは、昨今の海外競合メーカの品質向上により製品としての差別化が困難となってきたのが現状である。そこで、兼ねてよりお客様から要望のあった軽量化という付加価値を備えたYS独自のシリンダを提供したいという思いから、本開発に至った。

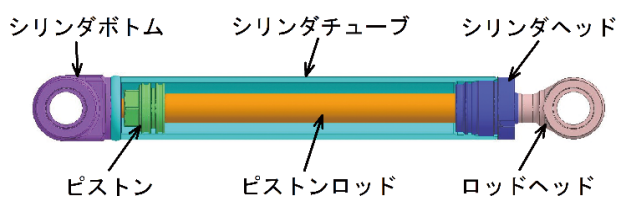


図1 油圧シリンダの基本構成部品

## 3 バテッドチューブとは

バテッド（Butted）とは、チューブの肉厚が変化している形状のことを指し、KYBの2輪車フロントフォーク用 OUTER チューブにも採用されている。

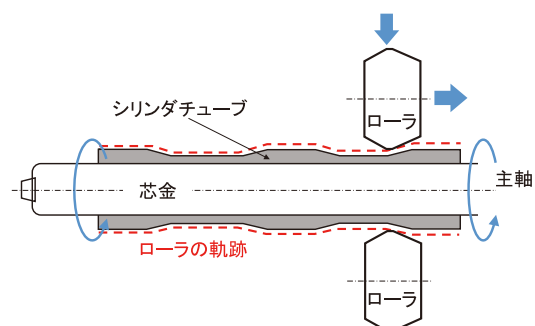


図2 スピニング加工概略

OUTER チューブと同様に、バテッド形状の成形は図2のようなスピニング加工にて行う。回転しているチューブにローラを押し当て、チューブ素管を

押し伸ばしながら加工するため、直管と比べて素材量が少なく済み、また切削加工のような切粉の発生も無い。

### 3.1 バテッドチューブのメリット

従来の油圧シリンダ用チューブは、最も肉厚が必要なシリンダヘッド締結部の肉厚に合わせた直管チューブもしくは、シリンダヘッド部のみ肉厚な段付きチューブを用いていた。それぞれの問題点として、前者は製品重量が重くなってしまふ点、後者は薄肉部へあまり多くの付加物溶接ができない点が挙げられる。

油圧シリンダにおいて肉厚が必要な箇所は、「シリンダヘッドネジ締結部」、「付加物溶接部」、「シリンダボトム溶接部」である。スピニング加工は、任意の箇所でも肉厚変更が行えるため、肉厚が必要な箇所はそのままに、肉厚が必要でない箇所を狙って薄肉化することが可能となった(図3)。直管・段付きチューブの欠点を克服した構造であり、軽量化も達成できた。一例として5.5 t油圧ショベル用シリンダのバテッド化の軽量化例を以下に示す。

- ブームシリンダ：▲6.7%
- アームシリンダ：▲5.4%

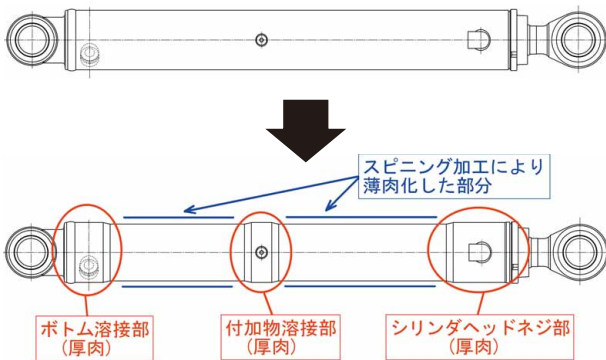


図3 バテッド形状の一例

### 3.2 チューブ肉厚の設定

厚肉部は既存の直管シリンダと同一肉厚とした。理由の1つは、母機側のランニングチェンジにも対応するためであり、チューブ外径を現行直管シリンダと同一にすることにより、チューブ上の溶接部品が共通化され、母機へのシリンダ取付けに完全互換性を持たせることができた。

2つ目の理由は、シリンダの付加物溶接耐久性(耐久強度)はチューブ肉厚に依るところが大きく、現行の直管シリンダと同等の耐久性を維持するためには、肉厚も同等とする必要があるからである。

対して、薄肉部の肉厚は応力計算から導き出した必要最低限の肉厚としている。

### 3.3 ローラフィードマークの低減(外観向上)

スピニング加工に於いて、写真1に示すローラフィードマークの凹凸が外観を損ねる問題があった。そこで、ローラフィードマークに起因するローラ形状を変更し、ローラフィードマークの凹凸高さを約1/5まで低減し、外観向上を達成した(写真2)。



写真1 改善前のローラフィードマーク

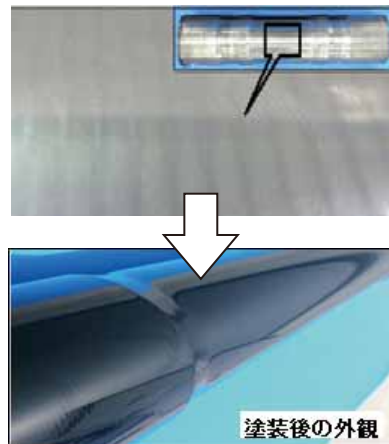


写真2 改善後のローラフィードマーク

### 3.4 薄肉部の外面剥離改善

3.2項で述べた薄肉部の肉厚設定でスピニング加工した際に、写真3に示すうろこ状の外面剥離が発生した。



写真3 うろこ状の外面剥離

そこで、スピニング加工中のワーク外面のせん断歪みに着目し、せん断歪みを低減する最適ローラ形状を

FEM解析 (図4) にて模索した。その結果、外面剥離を改善し、目標形状への成形を可能にした(写真4)。

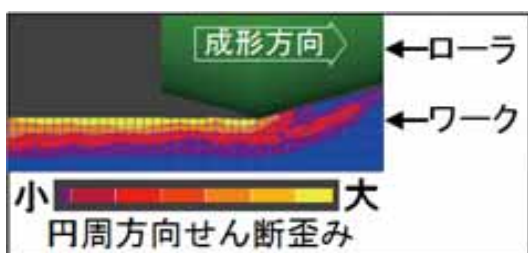


図4 FEM解析の概略



写真4 外面剥離改善効果

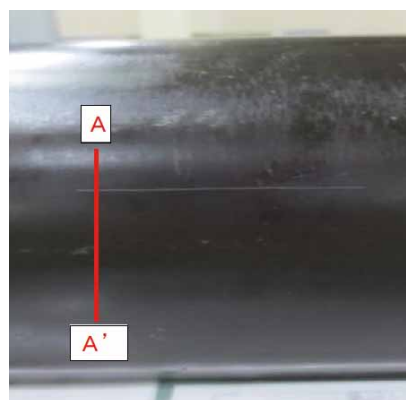


写真5 素管人工傷部

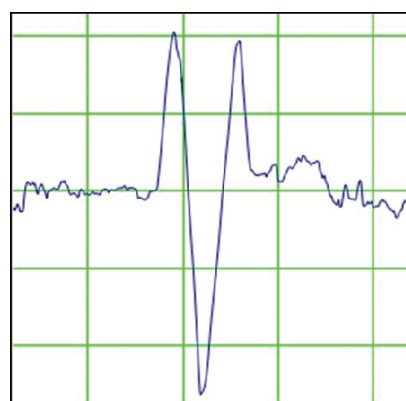


図5 スピニング前A-A'断面

#### 4 性能と耐久性

「シリンダヘッドネジ締結部」と「付加物溶接部」, 「シリンダボトム溶接部」は直管と同じ肉厚であるため、これらの箇所は直管とバテッドチューブの耐久強度は同等である。しかし、バテッドチューブ採用に当たっては、以下の懸念事項があった。

##### 4.1 薄肉部の変形に伴う耐久性

チューブを薄肉化した場合、シリンダに内圧が掛かった際のチューブの膨らみ(フープ応力)が大きくなる。これについては、発生フープ応力が既存の段付きチューブ薄肉部と同じ基準応力以下となるよう設計しているため、チューブ材の耐久性については問題ないといえる。

また、一定の圧力を加えても内径の膨らみ量が(肉厚によって)変化するバテッドチューブでは、チューブ内をピストンが通過した場合のピストンシールの異常摩耗やはみ出しが懸念された。よって、圧力をかけた状態での所定の摺動試験で確認を行った。その結果、ピストンシールの摩耗やはみ出し、及び内部漏れもなく、シリンダは継続使用可能な状態であったことから、当懸念点についても問題なしと判断した。

##### 4.2 素管表面の傷の影響

社内の研究により、一定以上の深さの傷がある素管(写真5, 図5)をスピニング加工すると、写真6のように傷部が捲れることがわかった。そのようなチューブに圧力が加わった場合、傷が起困となって破壊してしまうのではという懸念があった。

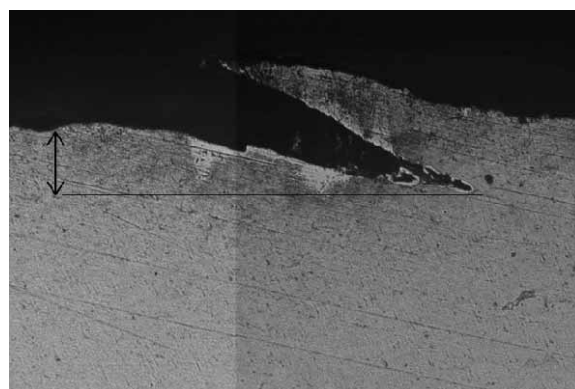


写真6 スピニング後のA-A'断面

そこで、素管メーカー殿にて許容される最深の傷を故意に素管表面へ付けてスピニング加工を行い、傷部に圧力が掛かるように中間固定パルス試験を実施した(写真7)。結果は、傷部からの破損はなく、シリンダの耐久基準もクリアしたため問題なしと判断し

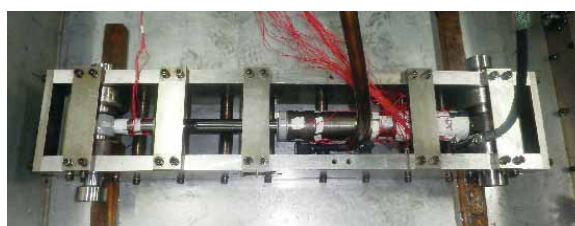


写真7 中間固定パルス試験の様子

た。

#### 4.3 座屈

薄肉化により、チューブの断面積が減る分シリンダ全体の座屈強度は低下する。しかし、建機用油圧シリンダの過去実績より導き出した最低座屈安全率を確保するよう設計している。

#### 4.4 内径精度

バテッドチューブは、3項で述べたようにチューブ外面をローラで押し付けながらスピニング加工するため、スピニング加工後のチューブ内径は直管と比較すると不均一である。これを、通常のスライピング及びローラバニシング加工で仕上げた場合、直管と同等の精度が確保できるかが心配された。

結果、スライピング加工狙い値を調整することで、安定した内径精度確保が可能と確認できた(図6、図7)。

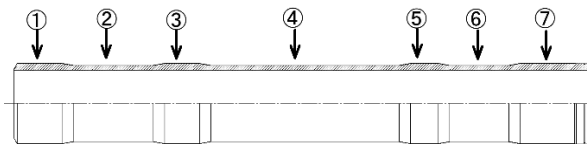


図6 内径測定位置

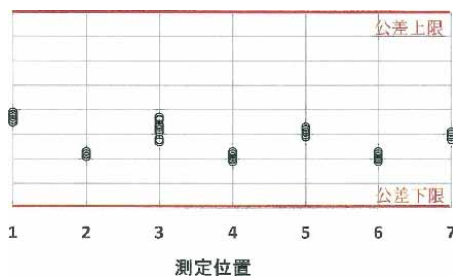


図7 スライピング後の内径測定結果

#### 4.5 塗装密着性

スピニング加工を行ったチューブの表面は、写真9のように微小なローラフィードマークが残る。これを塗装した場合の塗装の密着性の確認を行った。

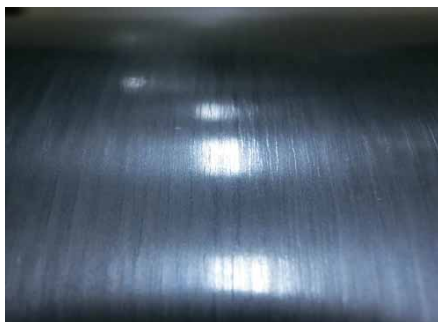


写真9 バテッドチューブ表面

当確認は、JIS K 5600-5-6クロスカット試験(写

真10) に準じて直管との比較を行った。結果として、直管とバテッドに差異はなく、塗装密着性は問題なかった。

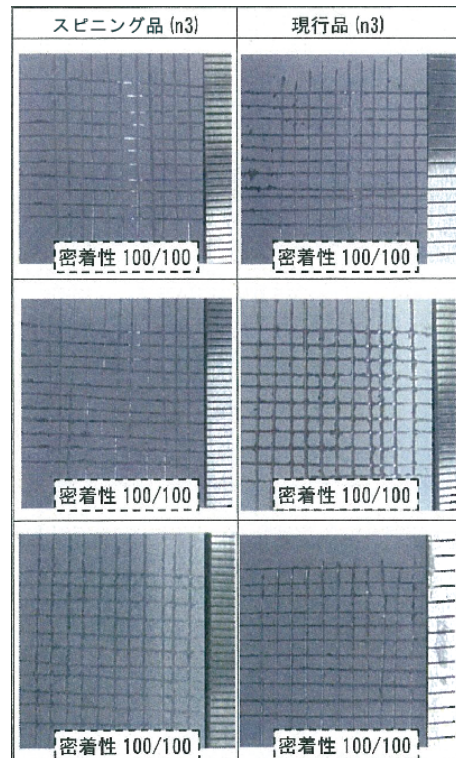


写真10 クロスカット試験

以上の確認結果より、バテッドチューブは油圧シリンダ用部品として十分な耐久性及び性能を有していることが確認できた。

## 5 量産採用事例



写真11 バテッドチューブ搭載機<sup>1)</sup>  
(ヤンマー建機様 ViO20-6)

バテッドチューブは2018年7月より量産を開始。その一例としてヤンマー建機様のViO20-6(写真11)用シリンダにおいては、直管を使用した場合と

比べて下記の軽量化を実現した。

ブームシリンダ : ▲4.2%  
アームシリンダ : ▲4.7%  
バケットシリンダ : ▲6.4%  
スイングシリンダ : ▲6.4%

## 6 おわりに

バテッドチューブは、耐久性や品質に関する全ての評価を完了し、2018年度下期より量産を開始している。従来の建設機械用油圧シリンダにはない取り

組みであったため、社内外から多くの心配点が挙げられたが、それらをひとつひとつ払拭し、自信を持ってお客様に提供できる製品となった。本バテッドチューブに倣い、今後もYSらしい独特かつ魅力ある製品を開発・提供していきたい。

最後に、多くの社内外関係者様に御協力を頂き、バテッドチューブの量産を開始することができたこと、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

### 参 考 文 献

1) ヤンマー建機：ViO20-6カタログ（2018年10月）

## 著 者



平井 達也

2013年入社。KYB-YS(株)設計部設計課。シリンダの開発・設計に従事。