

製品紹介

建設機械用油圧シリンダ KCH-8の開発

小林 俊 雄

1 緒言

カヤバでは油圧ショベルを主とした建設機械用のシリンダを製造・販売している。その中でも運転質量20t～40tクラスの油圧ショベルは旺盛な需要があり、市街地の土木工事から鉱山の採掘現場まで世界中でよく見かける製品となっている。上記クラスの油圧ショベル用シリンダ（以下KCH）を当社は約50年間製作し続けてきた。しかしながら昨今、油圧ショベルメーカーのグローバル化、競合シリンダの台頭などから、非常に激しい競争環境にさらされている。特に、価格面の競争については、優位性が見いだせない状況になっている。

このような不利な状況を改善するべく、現状構造にとらわれない新モデル（KCH-8 [Kayaba Cylinder High pressure model-8]）の開発を行った。本報においては今回取り組んだ製品の紹介と技術的課題と開発品の紹介を主に行う。

2 油圧シリンダについて

2.1 油圧シリンダとは

油圧シリンダは、ポンプから供給された作動油を媒体として、油圧シリンダの受圧面に圧力を作用させることで推力を発生させることができる。油圧ショベルは、油圧シリンダの推力と伸縮作動を利用することで、油圧ショベルのリンク機構を介して、バケットで重い土砂の採掘や運搬、持ち上げなどの仕事をする事が可能となる（図1）。

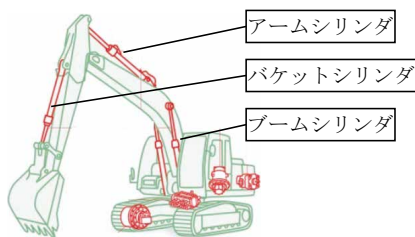


図1 建設機械用油圧シリンダ使用例

2.2 シリンダの主要部品

油圧シリンダを構成する部品の種類は50点未満と、他の油圧機器（ポンプ、バルブ等）と比べて少数であり、機械部品としては簡素な構造と言える。詳細な部品の紹介はここでは割愛するが、油圧シリンダの概要図を図2に、構成部品とその代表機能を表1に示す。

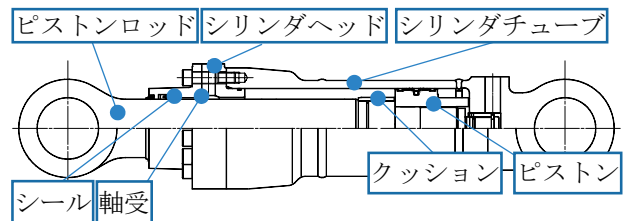


図2 シリンダモデル

表1 油圧シリンダの構成部品とその代表機能

部品	代表機能
シリンダチューブ	構造物, 密封
ピストンロッド	構造物, 摺動
シリンダヘッド	構造物, 密封, 軸受保持
ピストン	構造物, 軸受保持
各種シール	密封, 耐圧
各種軸受	構造物, 摺動
クッション	緩衝

2.3 油圧シリンダの特徴

油圧シリンダは、外部に対し所望の仕事を行うと同時に、油圧ショベルに生じる反力や外力を受け止める役割も担っている。油圧シリンダには、推力を確実に発生させるための作動油の密封性、滑らかに伸縮作動させる摺動性、ストロークエンドにおけるクッションによる緩衝機構など、油圧ショベルの作業性や操作性に関わる機能とともに、作動油の圧力、引張・圧縮荷重、曲げ、座屈、振動、保持など、構成部品の多くが構造物としての機能を備えている。

また、シリンダの主要寸法は、油圧ショベルが必要とする推力とストロークで決定される。シリンダは細くて長い製品が多い都合上、シリンダの軸方向に長尺の部材が必要となる。

3 開発課題と改良のポイント

3.1 課題の明確化

緒言に示すようにKCHでは厳しい価格競争にさらされており、コストダウンが最重要の項目となっている。課題を明確にするためにシリンダのコスト分析を行ったところ、シリンダチューブの素材費が最も大きな割合を占めており（次いでピストンロッド素材）、長尺部品が支配的である（図3）。そのため、長尺部品の薄肉化は大きなコストダウン効果が期待できる。

油圧シリンダコスト構成イメージ

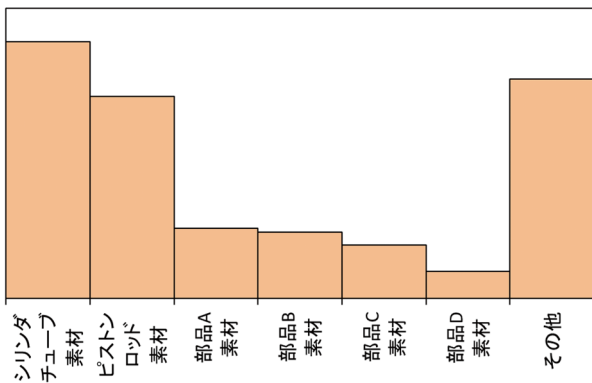


図3 シリンダのコスト構成イメージ

3.2 シリンダチューブの特性と技術的ハードル

油圧シリンダの油圧シヨベルにおける使用例（図1）として、ブームシリンダ、アームシリンダ、バケットシリンダがあり、部位により使われ方が異なるため、油圧シリンダに発生する負荷も当然異なる。そのため、必要強度がシリンダごとに異なり、それぞれに応じ適切な強度を確保できるように専用設計を行っている。図4に油圧シリンダの構成部品の一つであるシリンダチューブアッセンブリとその構成を示す。従来品のシリンダチューブは必要強度に対する最適設計を行うために、同一のシリンダ内径に対して最大4種類の肉厚を使い分けて設計している。

シリンダチューブが十分な強度を確保できればシリンダチューブの薄肉化は可能である。シリンダチューブの肉厚を従来から20%薄くした場合における、各特性項目に関する変化率と必要強度（基準）に対する適合可否を表2に示す。



図4 現状のシリンダチューブアッセンブリモデル

表2 シリンダチューブ薄肉時の主な強度

特性項目	変化率	基準適合
耐久強度	-57.0%	不適合
耐外力強度	-24.7%	問題なし
耐圧強度	-18.5%	問題なし
圧力による変形量	-16.0%	問題なし
剛性	-4.30%	問題なし

この場合において、耐久強度の低下率が最大となり単純にシリンダチューブを薄くするだけでは基準を満たすことができない。中でもシリンダボトム溶接部（図4）が最弱部位であり強度上のネックとなる。シリンダチューブの薄肉化がシリンダボトム溶接部の耐久強度に影響を及ぼすのか？と思われるかもしれないが、耐久強度は応力集中と反比例関係にあり、またシリンダボトム溶接部における耐久強度はシリンダチューブの肉厚と比例関係にある。強度解析（FEM）でも薄肉化により溶接部の応力が増大し耐久強度が低下することが試算された。

ここで、シリンダボトム溶接部はシリンダチューブとシリンダボトムの溶接継手であり、平坦な形状であるシリンダチューブに対し、溶接部は急激な形状変化部である。形状変化により応力が集中すると同時に、シリンダチューブと繋がっている関係で、シリンダチューブを薄くするとその肉厚に比例して平均応力が高くなり、応力が集中する溶接部はさらに高応力となる。

以上のようなシリンダボトム溶接部の特徴を踏まえ、シリンダチューブの薄肉化によるシリンダボトム溶接部の平均応力の増大に対して、シリンダボトム溶接部の応力集中を抑制することができれば、シリンダチューブを薄肉化しても従来の耐久強度を維持することが可能になると考えた。

そこで開発課題を「シリンダボトム溶接部の耐久強度向上によるシリンダチューブ薄肉化」として、溶接部改良に着手することとした。

3.3 従来のシリンダボトム溶接構造とその特徴

図5に現在までにシリンダボトム溶接に採用した形状（4形状）を示す。シリンダボトム溶接部に求められる機能である、耐圧、耐久性、シリンダチューブとシリンダボトムの同軸度等を確保するため、これらの形状が開発されてきた。

KCH-8開発前のシリンダボトム溶接形状はTYPE 4である。

TYPE 1：油圧シリンダの初期形状である。形状は最も簡素であり、部品点数も少なく、加工歩留まりは割と良い。しかし耐久性は4タイプの中で最低である。

TYPE 2：TYPE 1と比較しシリンダボトムと溶接

部を遠ざけ応力集中を低減させた形状である。耐久性はTYPE1よりは良好。部品点数は同一である。しかし、加工歩留まりは悪い。

TYPE3：シリンダボトム部に油圧を負荷した時の変形を考慮しシリンダボトム溶接部の応力集中を低減させた形状である。耐久性はTYPE2より良好。部品点数は同一だが加工はシリンダボトム内径部に溝加工が必要なため複雑である。

TYPE4：シリンダボトム部に油圧を負荷した時の応力集中を更に低下させるために、3ピース構造を採用したものである。シリンダチューブとシリンダボトムを溶接する際にカラー（裏板に相当する部品）を取り付け溶接する構造となっている。耐久性は従来品の中で最良。シリンダボトム部の加工性歩留まりはTYPE3より向上した。

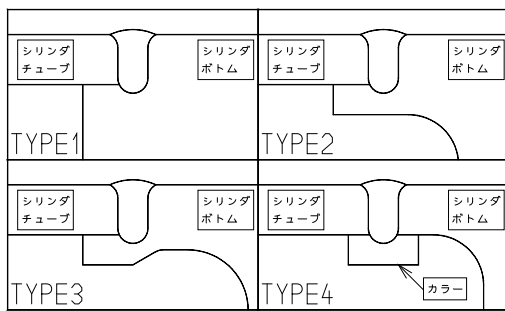


図5 現在までに採用されたボトム溶接部形状図

4 溶接部耐久性向上の方法

4.1 構造検討

従来のシリンダボトム溶接部の形状から耐久性向上方を検討した。シリンダボトム溶接部の位置がシリンダボトムから遠ざかるほど応力が低減する。それは一般的な応力低減策であるが、構造物として全長が長くなり、構成上不利となる。最適な形状を探索するためにFEM解析を行った(図6)。シリンダチューブの肉厚違い、カラーの有無、シリンダボトム部の加工形状など様々な構造を解析した。解析の結果からシリンダボトム溶接部の内径部に溝のような部分を形成することで従来品の構成を変更することなく応力集中の低減が可能と推定した。溝を設けることにより軸方向の負荷を応力集中部から回避し全体に分散させ耐久強度の向上が可能となるのではと考えた(図7)。

4.2 有効性の確認

応力解析を実施した中から有力候補を6パターンまで絞り込み耐久試験を実施し、耐久強度が基準を

上回るか、また解析通りの耐久強度が確保できているか確認した。その結果、採用した形状は従来のシリンダチューブ肉厚品の耐久試験結果を1.0とした場合、シリンダチューブの薄肉を行った場合でも1.1倍程度となり、従来の耐久強度より向上することを確認した。またシリンダチューブ肉厚を従来品のままシリンダボトム部の形状のみ変更した耐久試験では、耐久強度は従来品の2倍となり、形状変更により強度は十分向上していることが分かった(図8)。

耐久試験と同時に加工性、施工性も評価内容に加え、生産にも配慮した形状を構築した。

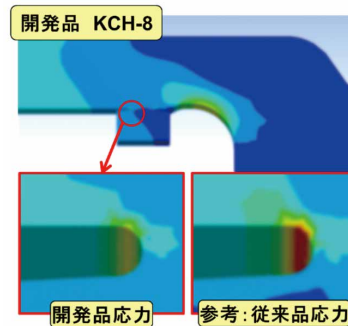


図6 溶接部付近の応力分布

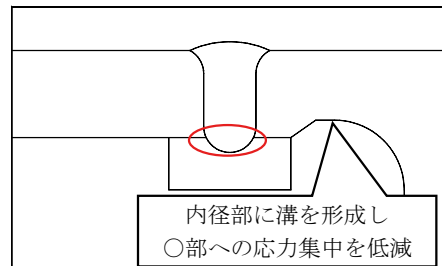


図7 開発したKCH-8ボトム溶接形状

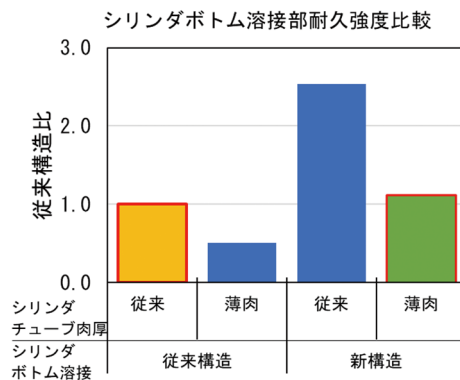


図8 耐久強度比較

5 結言

本開発においては、先人に改良開発は難しい製品であることを言われてきたが、これまでの形状を活かすことでシリンダチューブの薄肉化においても耐

久強度の向上を成立させる事が出来たことはいうれしく思う。

今後も本開発を糧に新たな油圧シリンダの技術開発の一翼を担えるよう精進していきたい。

最後に、本製品の開発にご協力いただきました各建機メーカー様、関連協力会社の皆様、社内各部門の皆様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 高井：油圧ショベル用シリンダ変遷, KYB技報第50号, (2015年4月)
- 2) 船戸：中型ショベル用 倒立バケットシリンダ, KYB技報第57号, (2018年10月)
- 3) 原：回想, KCHの誕生, KYB技報第56号, (2018年4月)

著 者



小林 俊雄

2007年入社. ハイドロリックコンポーネンツ事業本部開発実験部第二実験室. 同事業本部岐阜南油機技術部設計室時代に本開発に従事.