

# シリンダチューブボトム溶接部の非破壊検査技術の開発

光 尾 崇

## 1 はじめに

写真1に示す油圧ショベルは街中の工事現場や採掘場など様々な用途で用いられている建設機械である。一般的にフロント部はブーム、アーム、バケットの可動部から成り立っており、これらを動かすためにKYBの主力製品のひとつである建設機械用油圧シリンダ KCH (KYB Cylinder High pressure) が用いられている。

現在、中型KCHの組立工程において、シリンダチューブボトム溶接工程がネック工程となっている。このネック工程を解消する方策として新工法の採用を検討している。そこで、新工法による溶接部の品質を保証するために、溶け込み不足を検出可能な非破壊検査を実施することとした。

ここでは、シリンダチューブボトム溶接部の溶け込み不足を検出するため、超音波探傷を用いた非破壊検査技術の開発を行ったので紹介する。



写真1 中型油圧ショベルSK200  
(コベルコ建機様ホームページより転載)

## 2 開発目的・目標

本技術開発の目的は溶接不良検出による品質保証である。そのため、以下の目標を満たす必要がある。

- (1)溶接不良品検出率：100%
- (2)過検出率<sup>注1)</sup>：1%以下
- (3)未溶着長さ測定精度の明確化

注1) 溶接良品をNGと判定する確率

## 3 対象製品・対象工程について

### 3.1 油圧シリンダの基本構造

油圧シリンダの基本構造は図1に示す通りであり、以下のような機能を有する。

- ①圧油がボトム側ポートから供給されることでシリンダが伸び、ロッド側の油はタンクへ戻る。
- ②圧油がロッド側ポートより供給されることでシリンダが縮み、ボトム側の油はタンクへ戻る。

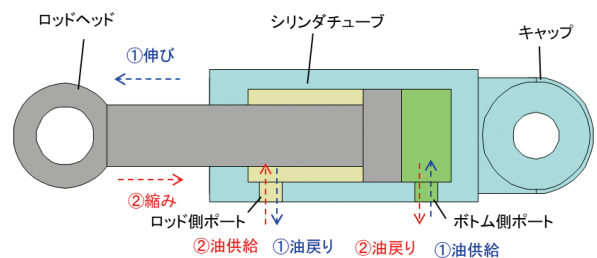


図1 油圧シリンダの基本構造

### 3.2 現状の溶接工程

現状の工程（溶接工程～仕上げ洗浄工程まで）および超音波探傷を用いた検査工程の導入予定位置を図2に示す。

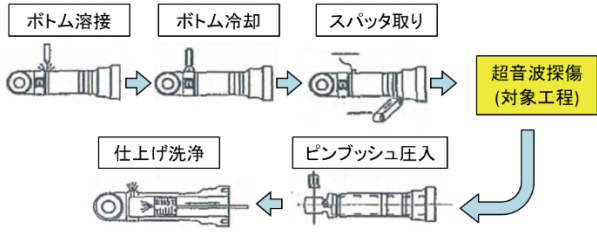


図2 溶接工程～仕上げ洗浄工程

### 3.3 溶接不良について

対象となるシリンダチューブの一例を写真2に示す。溶接部のA-A'断面を観察したとき、図3-aのようにカラーまで溶け込んでいる状態を溶接良、図3-bのようにカラーまで溶け込んでおらず溶け残りがある状態を溶接不良（以下未溶着）とする。この未溶着が円周方向に一定長さ以上ある製品について溶接不良品と定義する。溶接不良品はB-B'断面を観察すると写真3のように未溶着部に空隙が観察される。

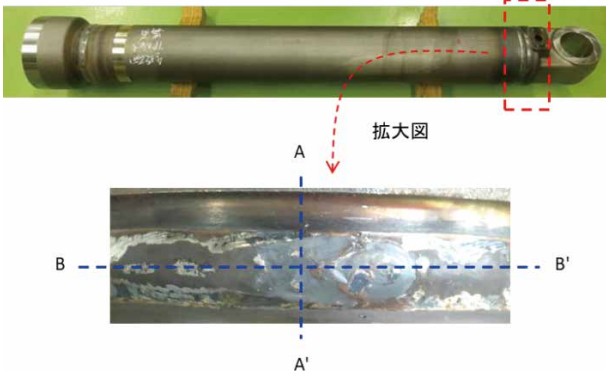


写真2 シリンダチューブ外観

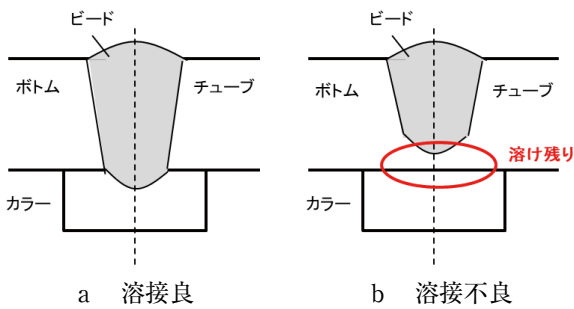


図3 溶接部A-A'断面の概略図

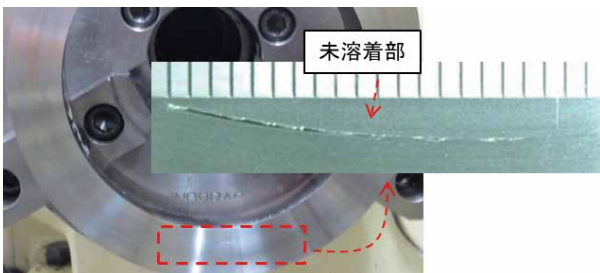


写真3 溶接不良品の溶接部B-B'断面

## 4 現状の問題点

従来、溶接部の検査では斜角探触子による手作業での検査を実施してきた。しかし、応力集中による破損を防ぐため一律であったカラーのサイズがチューブ肉厚に合わせモデルチェンジされた。そのため、カラーのサイズによっては図4-aのように検査できるモデルと、図4-bのように反射エコーが得られず、従来使用してきた斜角探触子では検査できないモデルがある。全モデルの検査を実施するにはカラーのサイズに合わせた斜角探触子が必要となり、コストや校正などを含めた段取り時間などが問題となる。

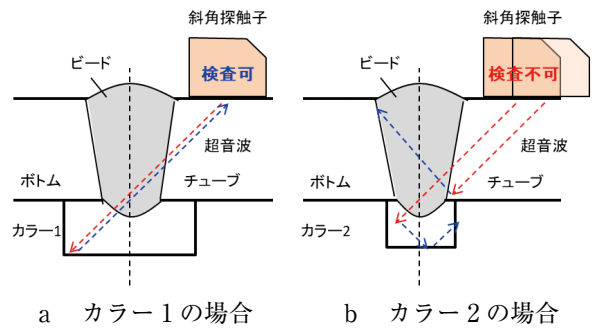


図4 カラーサイズの異なる場合の斜角探傷

そこで垂直探触子での検査が必要となったが、溶接部のビード形状は図3のような凸形状となっており、さらに円筒形状の検査となる。通常の垂直探触子では点接触に近く探傷面の接触面積が小さくなり、超音波が十分に入射できず感度が低くなるため、正確な検査が困難となる。

また、写真4に示すように溶接がラップしている部位に対し、それ以外のビード高さが低くなっている。そのため、溶接開始および完了位置付近では写真4のような傾斜が存在し、通常の垂直探触子では検査が困難である。



写真4 溶接完了位置付近のビード形状

## 5 溶接部非破壊検査技術の開発

### 5.1 ソフトプローブ

溶接部の垂直探傷を実施するため、写真5に示すジャパンプローブ社製ソフトプローブを使用する。



写真5 ソフトプローブ各種

ソフトプローブは図5に示すようにプローブの接触面に柔軟性があるためビード形状に沿って接触が可能であり、曲面や凹凸面を有する試験体の検査に適している探触子である。

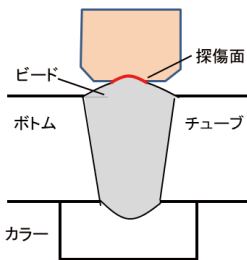


図5 ソフトプローブの特徴概略図

傾斜しているビード部の検査やプローブの構造上発生するノイズなどを考慮し、写真5右のソフトプローブを使用することとした。仕様については以下に示す通りである。

周波数：10MHz 振動子径：5mm  
振動子数：2

### 5.2 評価方法

評価方法について説明する。

図6のように溶着している場合、カラーの底面でエコーが反射し、図のXの位置にエコーが表示される。この位置に表示されるエコーを底面エコーとする。

図7のように未溶着の場合、カラーの表面(チューブ、ボトム底面)でエコーが反射し、図のYの位置にエコーが表示される。この位置に表示されるエコーを欠陥エコーとする。このXおよびYの位置に

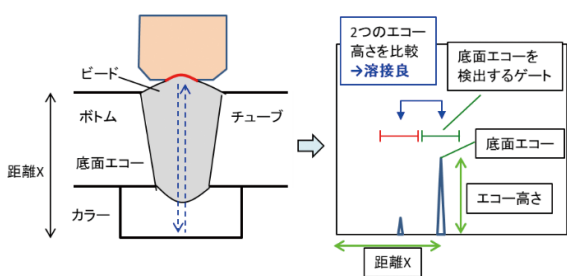


図6 溶着良部のエコー

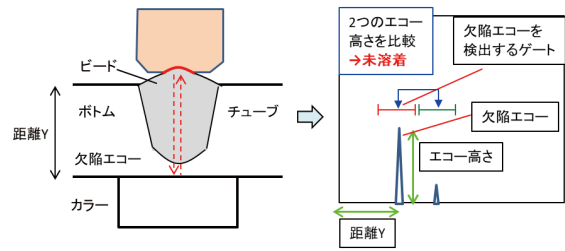


図7 未溶着部のエコー

表示されるエコー高さを比較し、検査部位を以下のように判定する。

[欠陥エコー<底面エコー]：溶着良  
[欠陥エコー>底面エコー]：未溶着

### 5.3 超音波探傷機

溶接部を円周方向に探傷し、未溶着部を検査する写真6のような超音波探傷機を製作し評価を行った。



写真6 超音波探傷機

## 6 開発結果

### 6.1 探傷能力評価結果

ある一定長さの未溶着があると予想されるNGテストピース(以下TP)のエコー高さを評価した結果を図8に示す。図は最も未溶着の発生しやすい溶接開始位置の少し手前より検査を行った結果である。

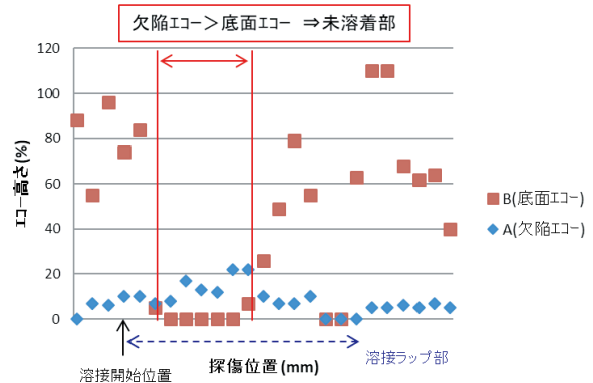


図8 NGTPのエコー高さ評価結果

図のように溶接開始後に [欠陥エコー>底面エコー] となる部位を確認した。この結果より、この位置に一定長さ以上の未溶着部があると推定できる。

次に、このTPについて写真7のような断面観察を行い未溶着長さを測定し、その値に対する探傷機で判定した未溶着長さの測定誤差を評価した。結果の一部を表1に示す。

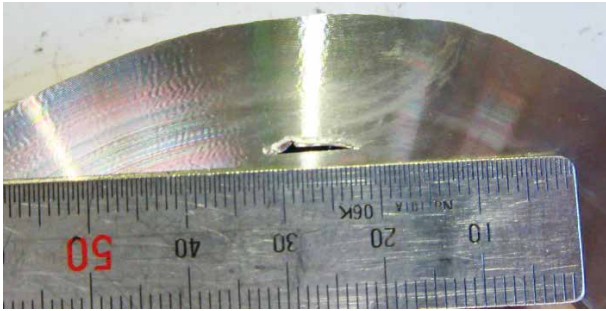


写真7 NGTP断面観察結果

表1 断面観察結果と探傷機判定結果

| TPNo | 判定     |     | 未溶着長さ<br>測定誤差(mm) | 結果    |
|------|--------|-----|-------------------|-------|
|      | 断面観察結果 | 探傷機 |                   |       |
| OK-1 | 溶接良品   | OK  | 未溶着部なし            | OK正判定 |
| OK-2 | 溶接良品   | OK  | 未溶着部なし            | OK正判定 |
| OK-3 | 溶接良品   | OK  | 未溶着部なし            | OK正判定 |
| NG-1 | 溶接良品   | NG  | 6                 | 過検出   |
| NG-2 | 溶接不良品  | NG  | 6                 | NG正判定 |
| NG-3 | 溶接不良品  | NG  | 4                 | NG正判定 |

表より、不良検出率は100%であった。しかし、未溶着長さについては実際の未溶着長さより長く (+4 ~+6 mm) 判定する傾向となった。これは図9のようにビード中心では溶着できているが、溶着幅が小さい場合、一部欠陥エコーが反射してしまい、[欠陥エコー>底面エコー] となる場合がある。この時、溶着良部を未溶着と判定してしまうため、過剰検出気味の判定結果となる。

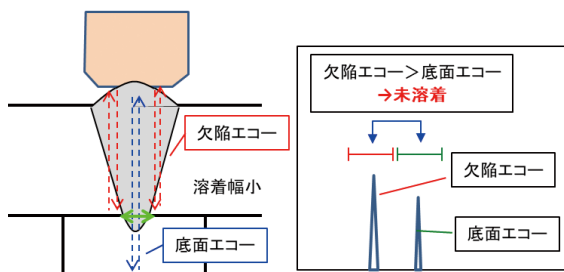


図9 溶着幅の小さい部位でのエコー

本テーマにおける評価結果では、探傷機の判定した未溶着長さが、断面観察し確認した未溶着長さより短くなることはなかった。

また、検査時間短縮のため検査ピッチを2倍に変更した場合の探傷能力評価も行ったところ、判定結

果は検査ピッチ変更前と同じ結果となった。未溶着長さ測定精度については変更前よりばらつきは大きくなるものの、実際の長さに対し0~+6mmと判定する結果となった。そのため、検査ピッチ変更後も過剰検出の傾向にあるといえる。

## 6.2 ソフトプローブの耐久性評価結果

探傷時は、ソフトプローブにある程度荷重をかけながら行っているため、使用回数とともにプローブは消耗し感度低下が発生する。そこでTPの探傷を繰り返し、ソフトプローブ使用回数に対する感度低下(探傷感度の上昇)についてn=2台で評価した。ソフトプローブ使用回数5,000回ごとに、写真8のように板厚10mmの平板を使用しエコー高さが80%となる探傷感度を確認した。

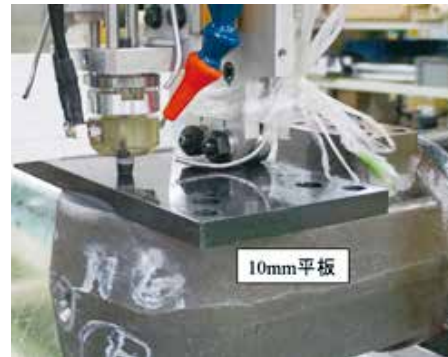


写真8 探傷感度確認

耐久性評価結果を図10に示す。ここで、プローブの価格および1本当たりの使用回数より目標使用回数は82千回とした。また、各プローブにおける探傷限界感度についてはプローブのノイズが検査精度に影響しない感度より設定している。

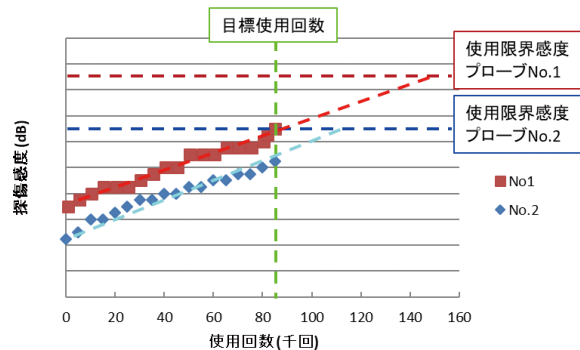


図10 耐久性評価結果

確認した両プローブともに使用回数82千回では使用限界感度にならず、使用限界感度となる使用回数はそれぞれNo. 1=150千回、No. 2=110千回と推定できた。また、82千回使用後のプローブNo. 1およびNo. 2にて、TPを再探傷したが耐久テスト前後にお

ける判定結果にほぼ変化はなく、82千回使用後も問題なく探傷可能といえる。

## 7 量産ラインへの導入

設備の完成立ち合いを経て、量産ラインにてn増しテストを実施中である。現在までにn=300本の探傷を実施したが、未溶着長さが一定長さ以上となり溶接不良と判定された量産品は1本であった。その量産品についても手探傷で未溶着長さを確認したところ、未溶着長さは一定長さ以下となり良品判定となった。つまり、開発時と同様過剰検出の傾向となっているといえる。過検出率は0.33% (1/300本) であった。

また、開発時に使用したNGTPをマスタとし、定期的に未溶着長さを測定しているが判定結果は開発時と同様の結果となっている。これらのことから、量産ライン導入後においても問題なく検査できているといえる。

## 8 結果

- (1)溶接不良品検出率：100%
- (2)過検出率：0.33%
- (3)未溶着長さ測定精度：0～+6 mm<sup>注2)</sup>

注2) 検査ピッチにより精度は変化(上記値は2倍のピッチ)

## 9 おわりに

ソフトプローブを用いたシリンダチューブボトム溶接部の非破壊検査技術を開発したことで、溶接部の品質保証が可能となった。これにより新工法の採用が可能となり、生産性向上やコスト低減を図ることができる見込みである。

今後も品質保証度向上や低コスト化につながる、様々な検査計測技術開発に取り組んでいきたい。

最後になりましたが、今回の開発において多大なご支援、ご協力をいただきました社内外関係者各位にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

## 著者



光尾 崇

2006年入社。技術本部生産技術研究所第二研究室所属。検査、計測技術の開発に従事。