

試験名

ステンレス鋼チューブを取り付けた、316 ステンレス鋼製 Swagelok®チューブ継手の回転曲げ試験

試験対象製品

ステンレス鋼チューブを取り付けた、以下に記載するステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手 各チューブ・サイズに対して、4 個以上のサンプル数を使用した。

以下のデータは、2013～2015 年に試験を行った製品を含む。

型番	母材の種類	チューブ・サイズ (外径×肉厚)	チューブの硬度 (HRB)
インチ・サイズ			
SS-400-1-4	バー・ストック	1/4 インチ×0.71 mm	86
SS-600-1-4	バー・ストック	3/8 インチ×0.89 mm	84
SS-810-1-4	バー・ストック	1/2 インチ×0.89 mm	81
SS-1010-1-8	バー・ストック	5/8 インチ×1.24 mm	84
SS-1210-1-8	バー・ストック	3/4 インチ×1.24 mm	79
SS-1410-1-8	バー・ストック	7/8 インチ×1.24 mm	78
SS-1610-1-8	バー・ストック	1 インチ×1.65 mm	78
ミリ・サイズ			
SS-6M0-1-4	バー・ストック	6 mm×0.8 mm	80
SS-10M0-1-4	バー・ストック	10 mm×1.0 mm	83
SS-12M0-1-4	バー・ストック	12 mm×1.0 mm	86
SS-14M0-1-8	バー・ストック	14 mm×1.0 mm	78
SS-15M0-1-8	バー・ストック	15 mm×1.0 mm	78
SS-16M0-1-8	バー・ストック	16 mm×1.2 mm	82
SS-18M0-1-8	バー・ストック	18 mm×1.2 mm	79
SS-20M0-1-8	バー・ストック	20 mm×1.2 mm	80
SS-22M0-1-8	バー・ストック	22 mm×1.2 mm	78
SS-25M0-1-8	バー・ストック	25 mm×1.8 mm	79

試験目的

実験室条件下にて、さまざまなレベルの繰り返し曲げ応力をチューブに加えた場合の、アドバンス・バック・フェール付き 316 ステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手の疲労耐性を調べること。

試験条件

- 試験に用いるサンプルの構成として、チューブ 1 本につき、チューブ継手 1 個を使用し、Swagelok チューブ継手の取り付け方法に従い、取り付けを行った。
- 試験は室温にて行った。

試験方法

回転曲げ振動試験は、SAE-ARP1185に基づいている。ハイドロリック・オイルを用いてチューブの最高使用圧力まで加圧し、継手の接続部分に繰り返し曲げ応力をかける。継手からの漏れ、チューブの破壊、あるいは1,000万回以上の回転サイクル数の達成のいずれかに至った時点で試験を終了した。

ASME Pressure Vessel and Piping, volume 62 (ASME PVP-62)は、最大振幅0.2 μm/mmのたわみの繰り返し応力を与える振動が、頻発する配管システムの故障の原因であると報告している。ステンレス鋼の場合、0.2 μm/mmの応力レベルは、繰り返し応力19.2 MPaに換算される。またASME PVP-62には、現場での配管システム測定データによると、1,000万サイクルを超えた場合、無限のライフ・サイクルを持つと言えることも記載されている。

ASME BPV Code, Section III NC-3673には、さまざまなタイプの継手の応力集中係数が記載されている。例えば、突き合わせ溶接は $i = 1.0$ 、差し込み溶接は $i = 1.3 \sim 1.9$ 、ろう接継手は $i = 2.1$ 、パイプ継手は $i = 2.3$ である。応力強度ライン [$i = 1.0, 1.3, 2.3$ (グラフ上に記載)] は、炭素軟鋼製継手の疲労曲げ試験に基づいており、これにより、他の継手タイプとの目視比較が可能になる。応力強度ラインは次の公式 (ASME BPV Code, Section III, NC-3673 に記載) によって定義される。

$$i \times S = 245\,000 \times N^{-0.2}$$

S = 故障が発生する時点における曲げ応力 (lb/in.²)

N = 故障が発生するまでのサイクル数

i = 応力集中係数

以下の手順で試験を行った。

1. 各サンプルを、回転曲げ試験台にセットした。(図1を参照)

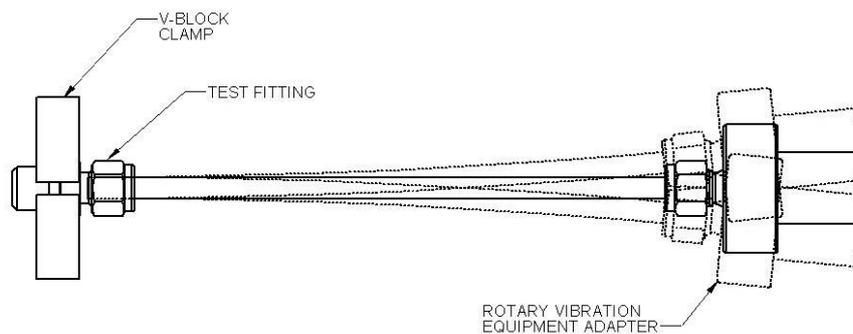


図1

2. 各サンプルに、ジンバルによって回転オフセットを生じさせ、曲げ応力をかけた。曲げ応力値は、応力値/サイクル数 (S/N) グラフ作成のため選定した。これらの応力値は、高加速寿命試験手順に従っているが、特定の用途を示唆するものではない。
3. チューブへの繰り返し曲げ応力は、実際に計測したチューブの曲げ応力 (最大曲げ幅の 1/2) から算出した。

表 1	
繰り返し曲げ応力 (公称値) ^① (MPa)	サンプル数
137.8	154
103.3	154
68.9	154
合計	462

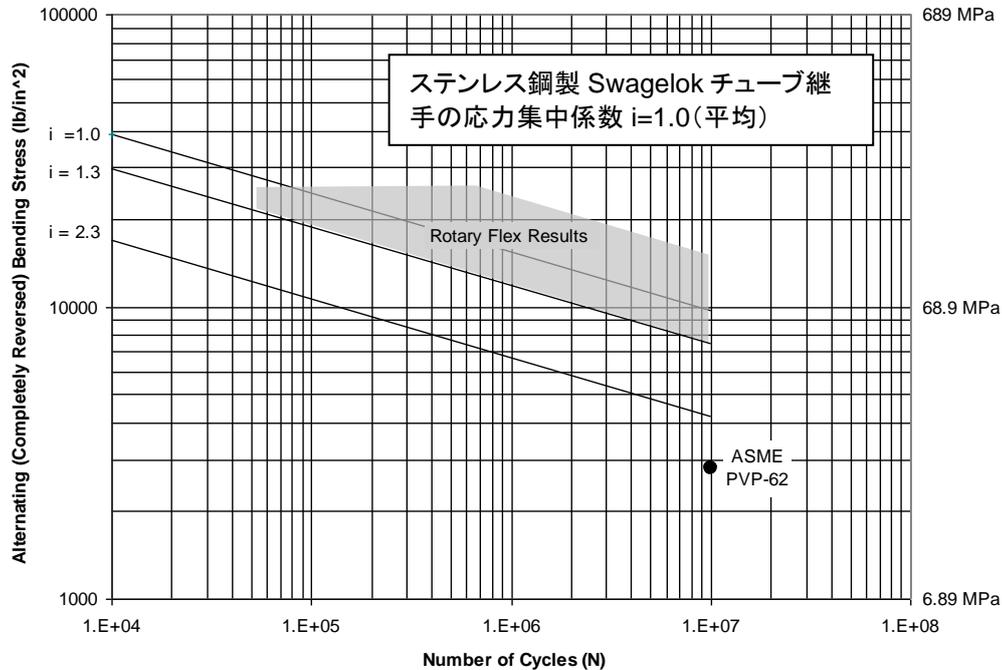
① 応力:ゼロ点から最大まで

4. ハイドロリック・オイルを用いて、チューブの最高使用圧力までサンプルを加圧した。
5. 継手からの漏れ、チューブの破壊、あるいは 1,000 万回の回転サイクル数の達成のいずれかに至った時点で試験を終了した。継手に漏れが生じた場合、あるいはチューブに疲労破壊が生じた場合には、インライン型圧カトランスデューサーがそれを検知し、試験を停止した。
6. 曲げ応力/サイクル数(S/N)グラフをデータから作成し、結果を前述の ASME ベースのデータと比較した。
7. 試験実施中漏れを検出せず、また与えられた曲げ応力に対する継手部の応力集中係数を $i = 1.3$ と想定して予想サイクル数の基準に適合、もしくはそれ以上の水準に達した場合、サンプルが回転曲げ試験に合格したと判断した。

試験結果

- 試験を通して、継手の漏れは検出されなかった。チューブに破壊が生じた場合、あるいは回転サイクル数が 1,000 万回を超えた時点で試験を停止することにしていたが、そのような状態には陥らなかった。
- 次の S/N グラフの影の部分に、ステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手に対する回転曲げ試験の結果が含まれている。この影の部分は、回転サイクル数が 1,000 万回の時点で途切れているが、これは漏れが発生しなくても、回転サイクル数が 1,000 万回に達した時点で、試験方法に従って試験を終了したためである。
- 繰り返し応力 19.2 MPa と回転サイクル数 1,000 万回が交差する点が、ASME PVP-62 が求めているポイントである。
- 316 ステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手は、ASME PVP-62 の推奨上限を大幅に上回る繰り返し応力に対しても、チューブの早期破損を防ぎ、漏れのない状態を保った。継手は、サイクル数 1,000 万回時点で、ASME BPV Code Section III, NC-3673 に定義された応力集中係数 $i=1.3$ を上回る値においても耐性を示したため、回転曲げ試験に合格と判断した。
- ASME B31J, Standard Test Method for Determining Stress Intensification Factors (i-Factors) for Metallic Piping Components では、数回のテスト結果を基にして応力集中係数 i を求めるよう推奨している。ステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手の応力集中係数 i は平均 1.0 である。

Rotary Flex Testing of Swagelok Stainless Steel Tube Fitting



これらのテストは、製品の推奨使用条件を超えて実施しています。製品カタログなどに記載されている仕様を超えた条件下で実際に使用しないでください。

特定の用途を想定した試験ではないため、実際に使用される条件下での結果については保証いたしません。これらの選定条件や試験結果は、スウェーゼロック社が表明および保証を行うためのものではありません。また、実験室で行った試験のため、実際の使用条件を再現しているものではありません。圧力、温度などの技術情報につきましては、製品カタログをご参照ください。

安全な製品の選定について

安全にトラブルなく機能するよう、システム全体の設計を考慮して、製品をご選定ください。機能、材質の適合性、数値データなどを考慮し製品を選定すること、また、適切な取り付け、操作およびメンテナンスを行うのは、システム設計者およびユーザーの責任ですので、十分にご注意ください。

参考文献

SAE-ARP-1185, *Flexure Testing of Hydraulic Tubing Joints and Fittings*, SAE International, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096

ASME *Pressure Vessel and Piping (PVP)*, Vol. 62, 1982, ASME B31J-2008, *Standard Test Method for Determining Stress Intensification Factors (i-Factors) for Metallic Piping Components* and ASME *Boiler and Pressure Vessel (BPV) Code, Section III*, 2007, ASME International, Three Park Avenue, New York, NY 10016-5990, www.asme.org

この日本語版製品テスト・レポートは、英語版製品テスト・レポートの内容を忠実に反映することを目的に、製作いたしました。日本語版の内容に英語版との相違が生じないよう、細心の注意を払っておりますが、万が一相違が生じてしまった場合には、英語版の内容が優先されますので、ご注意ください。