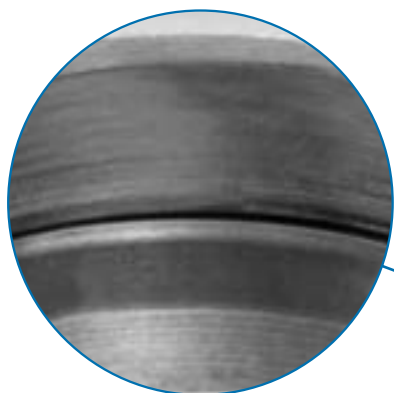


# 316 ステンレス鋼製 Swagelok® チューブ継手

アドバンス・バック・フェルール構造を採用



施工の簡素化と  
性能の向上を実現し、  
取り付けに要する  
トータル・コストを削減

### はじめに

スウェージロックは、1947年に2個のフェルールを使用した Swagelok チューブ継手の発売を開始しました。以来、流体システム・コンポーネントは経済性、環境、性能に対するお客さまのニーズの高まりとともに、大容量／低圧系から低容量／高圧系へと変化しています。また、今日の低容量／高圧システムには、使用圧力(内圧/外圧)、真空度、流体の速度および流れの転向、振動レベル、衝撃に対するニーズが高まっています。その結果、チューブ継手、チューブ配管、その他のシステム関連装置などの機械部品への要求も高くなってきました。

このような状況下において、スウェージロックは自社製品の改良に絶えず取り組んでおり、Swagelok チューブ継手の安定性、品質、性能は世界中から高い評価をいただいています。スウェージロックではその経験と実績から、お客さまに安定した漏れのない流体システムを提供するために、チューブ継手は以下のような要件を満たす必要があると考えています。

- 不適切な取り付けや締め付けが依然として漏れの大きな原因となっているため、現場によって異なるさまざまな環境に対応でき、かつ確実な取り付けが可能であること。
- 肉厚、硬度、だ円度、および破壊圧力などのチューブの多様な特性に対応できること。
- 施工者は、取り付け時に1 1/4回転(推奨回転数)ではなく、力(トルク量)の「感触」により、確実に取り付けられたかを判断することがあるため、一貫性のある「感触」により、締め付け度合いを判断できること。取り付け時に大きなトルクを必要としたり、完全な締め付けに必要な「感触」や力に大きなバラツキがある継手では、締め付けが不完全となり、チューブ継手の性能が十分に発揮されない。

### 2個のフェルールを使用したチューブ継手の動作原理

チューブ継手において重要なことは、常に適切な取り付けが可能であることと、その性能を最大限に発揮させることとのバランスの調整です。2個のフェルールを使用したチューブ継手は、バック・フェルールが継手アセンブリにスプリング荷重をかけてフロント・フェルールを前方に移動させた後、継手ボディを研磨し、シールします。これが、第一のチューブ・シールとなります。バック・フェルールは、チューブをスウェージングし、かつグリップする機能もあり、継手とチューブを確実に固定します。

チューブを適切にスウェージングし、グリップするためには、バック・フェルールの前端部の硬度がチューブの硬度よりもかなり高くなければなりません。そのためには、バック・フェルール全面を硬化する方法と、バック・フェルール先端部のみ硬化する方法の2つがあります。

従来型のバック・フェルールにおいて全表面を硬化させる方法には、いくつかの課題がありました。第一に、取り付けトルクが増加するという点です。なぜならば、全面を硬化した従来型バック・フェルールは曲げることができず、下向きに「ヒンジ」として動作しないため、チューブに対して十分なスウェージング機能が得られません。むしろ、施工者の力で所定の位置に締め込む必要があるため、その結果、多くの場合、より大きなトルクが必要となります。第二に、

スウェージロックは50年以上にわたり、これらの問題を解決すべく、また、漏れのない取り付けを常に簡単かつ確実に行っていただけのように、チューブ継手製品の改良を続けてきました。改良点としては、バック・フェルールをチューブへ確実にスウェージング(締め付け)するための先端部形状の精度向上、締め付け度の確認が可能な継手とギャップ検査ゲージの設計、そして、世界各地の施工者に対して、安全で漏れのない接続を行うためのトレーニング・セミナーの実施などが挙げられます。

業界においては、チューブの取り付けに対し、より高い信頼性、制御性、再現性、確実性、経済性が常に求められています。したがって、Swagelok チューブ継手の性能を絶えず向上させ、さらなる価値を付加し続けていくことが必要です。バック・フェルール構造をさらに改良した Swagelok チューブ継手の開発における重要な課題は、施工作業の軽減と時間短縮、性能の向上、そして、計装用チューブ継手として世界で広く使用されている従来型の Swagelok チューブ継手(トラディショナル Swagelok チューブ継手)との互換性の維持でした。

再取り付け時のトルクを、ヒンジとしての動作に変換または吸収するように設計されていないという点です。全面を硬化した従来型バック・フェルールは、再取り付け時にフロント・フェルールを過度に押し込む傾向があります。そのため、チューブと継手ボディが損傷したり、ガス漏れのない安定した再取り付けに必要なフロント・フェルールの機能を損なったりする可能性があります。

一方、トラディショナル Swagelok チューブ継手は、全表面を硬化する方式のバック・フェルールを採用した継手とは異なり、施工面と性能面のそれぞれ異なる要因を考慮して設計されています。また、一部に硬化を施したバック・フェルールを採用したことにより、市販されているさまざまなグレードのチューブと組み合わせ使用することが可能となり、必要なスウェージングおよびグリップ機能を保ちつつ、取り付けトルクを低減しました。バック・フェルールの製造には、冶金工程において、先端部のみを硬化させつつ、中心部および後部の縁の柔軟性を保つという、スウェージロック独自の技術を導入しました。締め付け時に、バック・フェルールの縁に力が加わると、柔軟な中心部分がヒンジの支点として機能します。このヒンジ機構によって、取り付け時のトルクを小さく抑えることができ、同時に、バック・フェルールの先端部を介して、適切な量のスウェージング力が伝わるのです。

## アドバンス・バック・フェルール構造の開発

トラディショナル Swagelok チューブ継手の性能は、316 ステンレス鋼チューブに対しては極めて優れていましたが、強度と硬度のより高い合金チューブとの接続に対しては大きな課題がありました。そして、お客さまからのご要望もあり、スウェージロックでは、316 ステンレス鋼よりも強度と硬度に優れたスーパー・デュープレックス・ステンレス鋼を材質とするチューブ継手の開発に着手しました。

この継手の開発に際し、硬度が高く、より高圧向けのチューブに対する性能への要件と、安定かつ容易な施工の実現とを同時に満たす、アドバンス・バック・フェルール構造を考案しました。改良後の Swagelok チューブ継手の設計(次ページの図1 参照)には、より高度な技術を用いたヒンジ機能、アドバンス・バック・フェルール構造(特許)、全面硬化、耐食性強化のための工程(特許申請中)などが取り入れられています。

設計に改良を加えたバック・フェルール(次ページ図2 参照)のヒンジ機能には、以下のようないくつかの利点があります。

- 確実かつ正確にフロント・フェルールのシール力が向上します。
- 硬度の高いチューブ材質に対しても、取り付けに必要なトルクを予測でき、適度なレベルで変形します。
- 締め付け工程の初期段階で、スウェーディングに必要なより大きなエネルギーが、スムーズかつ効率的に伝達できるため、不適切な取り付けや締め付け不足による漏れの可能性が低減します。
- 独自の冶金工程とヒンジ機能により、過剰なトルクを吸収でき、フロント・フェルールの過剰な押し込みを防止します。その結果、再締め付け時にも、ガス漏れのないようシールを確実にを行います。

## アドバンス・バック・フェルール構造を用いた Swagelok チューブ継手の利点

新型 Swagelok チューブ継手にも、フェルールが2個使用されており、AISI316 および 304 ステンレス鋼チューブの破壊圧力に到達するまで漏れが発生しないという、優れた性能を備えています。主な利点は次のとおりです。

- **適切な施工を支援**：アドバンス・バック・フェルール構造の高度なヒンジ機能により、フロント・フェルールを密封するだけでなく、締め付け工程全体を通してより大きなスウェーディング力を生み出します。これにより、継手の締め付け不足があっても、施工の不備やシステムの漏れを防止できます。
- **ガス・シール性能の向上**：アドバンス・バック・フェルールのヒンジ機能により、どのようなチューブでも一定の力でフロント・フェルールをシールします。このアドバンス・バック・フェルール構造では、ヒンジとしての曲がり動作を利用することにより、従来のバック・フェルールと比べて、より大きなエネルギーをヒンジとして吸収できます。その結果、フロント・フェルールの過剰な押し込みを防ぐことができるため、繰り返し再取り付けを行っても、信頼性の高い動作とガス・シールを保持できます。
- **振動疲労に対する耐性**：アドバンス・バック・フェルールの高度なヒンジとしての曲がりにより、より安定した中心方向への絞り込み機能が得られ、グリップ点より後方でのチューブのサポート力が向上します。この絞り込み機能により、チューブのスウェーディング部分を、システムの振動と疲労から、より効果的に保護できます。
- **市販のチューブに対する許容範囲の拡大**：通常、チューブの最低破裂圧力を求める計算ではラメ公式のように、最小許容引張強さ、最小許容肉厚、最大許容外径などの値を用います。しかし、これらの計算では、チューブの圧力保持性能に関して、実際の数値を下回る数値が算出されます。ところが実際には、ステンレス鋼

このデザインを採用することで、スーパー・デュープレックス・ステンレス鋼チューブへの対応が可能となりました。この結果、スウェージロックは、316 ステンレス鋼製継手にも同じデザインを適用するべきであることを確信しました。

### フェルール性能の向上

締め付け時にナットを回転させると、まず、バック・フェルールによってフロント・フェルールがチューブと継手ボディのシートの間に押し込まれ、第一シールが形成されます。前方への移動に対する抵抗が増すと、バック・フェルールは中心に向かって曲がり、チューブ表面に対してスウェーディングするための下向きの力を伝達して、安定した強固なグリップを生み出します。

アドバンス・バック・フェルールの形状と冶金処理により、フロント・フェルールが最適シール位置を通過する前にヒンジ動作を開始し、チューブをスウェーディングおよびグリップする設計になっています。さらに、特許取得済みのバック・フェルール構造により、食い込みタイプの継手の典型的な欠点である、チューブ上での応力の増大を防ぎます。そして、バック・フェルールが中心方向に絞り込まれる機能により、スウェーディング点から離れた位置でチューブをグリップし、振動に対する耐性を確実に増強します。これらの技術開発により、今日の産業向け流体システムに求められている極めて頑丈で品質が安定し、かつ取り付けが容易なチューブ継手が生まれました。

チューブ・メーカーは、チューブの最低破裂圧力を規定する ASTM や他の規格に記載されている材料強度の値を基準とする工程を行わない場合があります。そのため、製造されたチューブの強度や硬度が増すため、その最低破裂圧力は、多くの場合、算出された値よりも著しく高くなります。Swagelok チューブ継手は頑丈なため、このような現在供給されている強度の高い材質からなるチューブの破裂圧力を超えても確実にグリップします。さらに、アドバンス・バック・フェルール構造では、表面を均一に硬化させているため、耐食性にも優れています。

- **トラディショナル Swagelok チューブ継手との互換性**：特許取得済みの Swagelok 継手の締め付けは、トラディショナル Swagelok チューブ継手と同様に 1 1/4 回転で行います。さらに、アドバンス・バック・フェルール構造を用いた Swagelok 継手も、以前と同じ取り付け検査ゲージを用いて、締め付け度を確認することができます。しかし、施工者にとっての最大の利点は、締め付けの際に以前にも増して安定したトルクの感触が得られ、安定した漏れのない接続を実感できることです。
- **新合金材への適用性**：この新型 Swagelok チューブ継手の登場により、強度や機械的特性が高いスーパー・デュープレックス・ステンレス鋼のような新合金を継手材質として使用しても、取り付けが容易かつ高性能なチューブ継手として利用可能であることが実証されました。



## 新しい表面硬化法を アドバンス・バック・フェルール 構造に採用

スウェーヂロックが開発した、均一で超硬質かつ耐食性の高いステンレス鋼を製造するための方法には、国際特許取得済みもしくは出願中のものが数多くあります。これらの方法には、表面硬化処理として、腐食の原因となり得る金属炭化物の析出が本質的に少ない炭素固溶体を形成する方法が採用されています。炭化や硬化は、遊離炭素が表面へ拡散できるようになるまで、ステンレス鋼の温度を上げることにより、金属上に均一な硬い層を形成することによって行っています。この場合、金属炭化物の析出温度を回避するようにしています。

ステンレス鋼の溶解によって硬化する方法は、オランダのB.H.Kolster博士が考案し、1983年にその研究結果が発表されています。それ以来、スウェーヂロック以外にも、複数の企業や機関が、この炭化方法を製品に実際に取り入れるため、研究を行ってきました。しかし、チューブ継手用フェルールにおいて、実用レベルの炭化処理プロセスに関して独自に開発を行い、国際特許を取得もしくは出願するに至ったチューブ継手メーカーはスウェーヂロックだけです。

そして、316 ステンレス鋼製およびスーパー・デュプレックス・ステンレス鋼製のチューブ継手に採用されているアドバンス・バック・フェルールの構造(特許)とヒンジ機能を開発した際にも、スウェーヂロックが有するステンレス鋼の表面硬化に関するこの専門技術が不可欠でした。

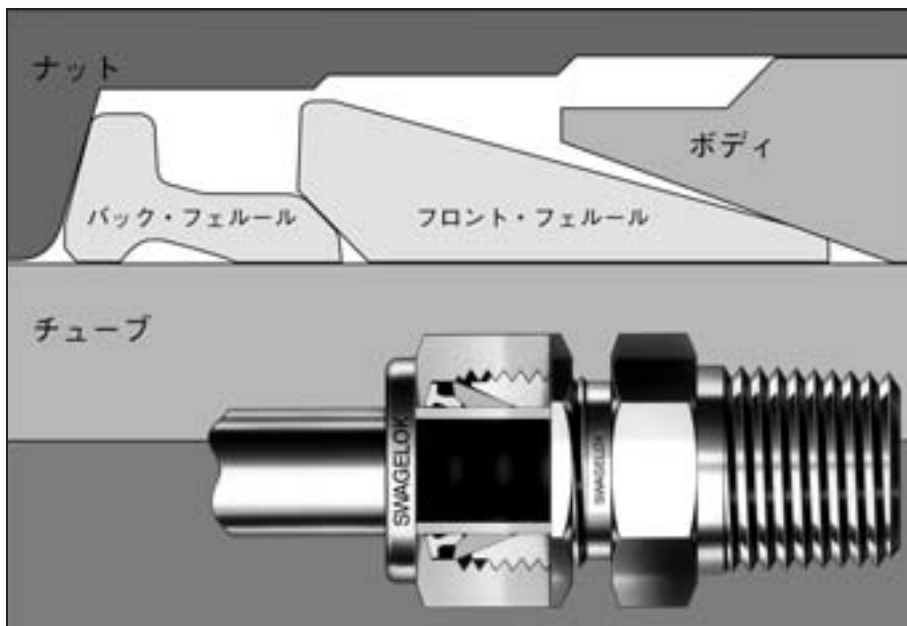


図 1 :  
アドバンス・バック・フェルール構造を採用した 316 ステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手の締め付け前の状態  
継手ナット(上)、アドバンス・バック・フェルール(左)、フロント・フェルール(中央)、継手本体(右)など、継手各部の締め付け前の状態を断面図で示しています。チューブ肉厚の断面は、フェルールとボディの図の下に示されています。

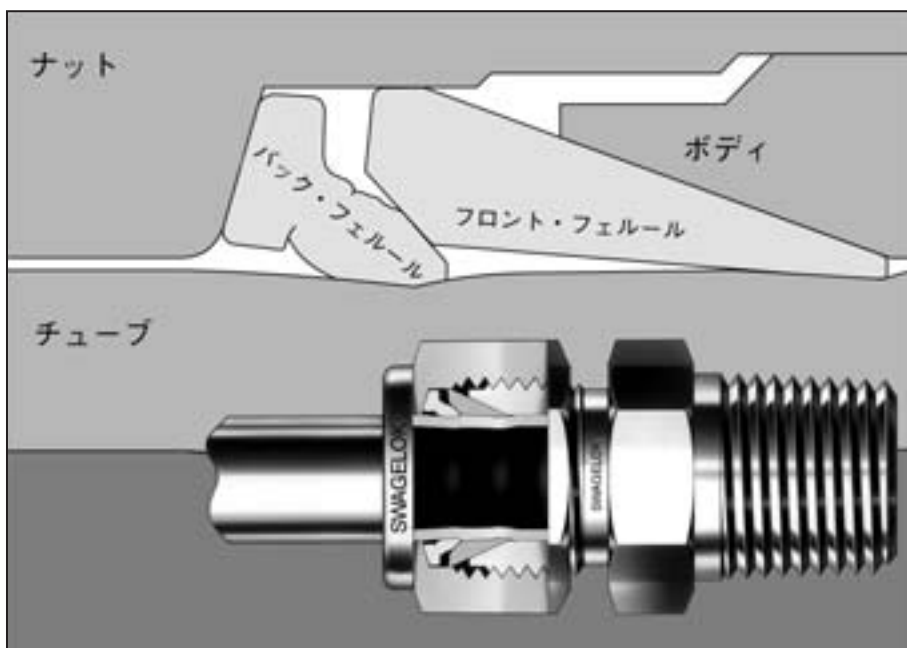


図 2 :  
アドバンス・バック・フェルール構造を採用した 316 ステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手の締め付け後の状態  
締め付けを行うと、フロント・フェルール(中央)は、継手ボディ(右)とチューブ(下)の間に押し込まれ、第一シールを形成します(チューブとボディの間)。一方、バック・フェルール(左)は、内向きにヒンジとして曲がり、チューブを強力にグリップします。このフェルール後部の形状により、軸方向(前進方向)の力を中心方向へのスウェージング動作に変換して、しかも、少ない力(トルク量)で曲がります。バック・フェルールの中心方向への優れた絞り込み機能(スウェージング点の左側の部分)によって、チューブのスウェージング部分を分離して保護し、食い込みタイプの継手にありがちな振動応力の発生を防止します。

この日本語版技術情報は、英語版技術情報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に、細心の注意を払っておりますが、万が一相違が生じた場合には、英語版の内容が優先されますので、ご注意ください。