

フランジ継手からの漏洩防止技術

新興プランテック 桐原 玲
Rei Kirihara

はじめに

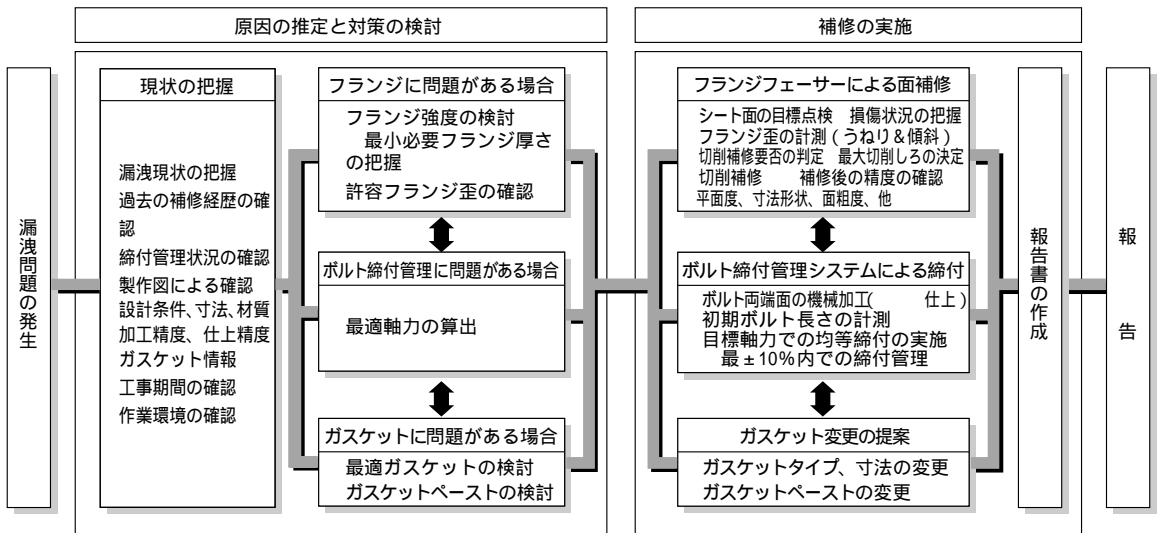
近年、プロセスの改良や経済性の追求に伴う装置の大型化などにより、高温・高圧機器は増加傾向である。また、これらの機器は長期連続運転・開放周期の延長を要求される時代にあり、これに伴ってフランジ継手部の漏洩問題は、装置の長期安全運転を考える上で重要な事項である。

そこで当社では、フランジ継手部からの漏洩問題の解決を図る技術的パラダイムを早くから第1図のように構築し対応してきた。本文では、当社で多くの実績を持つ超音波によるボルト締付け管理技術を中心に、ガスケットシート面の機械加工補修技術も含めて紹介する。

最適軸力の検討

フランジ継手部の締付け軸力は、一般的には設計段階で設定される。しかし、この値はあくまで最低軸力値であり、運転状態の変化や締付け後のガスケット応力緩和までも加味していない。従ってその機器に即した軸力を設定することが、漏洩を防止する上で重要要素のひとつであることがいえる。

このため当社では、設計段階で用いられるJIS B8273を基本式として、ガスケットが各流体ごとに必要とされる面圧、及びガスケットタイプ毎の初期締付け状態からの応力緩和の概念を盛りこんで軸力検討を行っている。



第1図 漏洩防止システムフロー

そしてその値を、過去の締付け実績や経験則と照らし合わせバックチェックをし、顧客の運転条件に適した最適軸力として提示している。

2003年現在、当社が検討した軸力値は、実績件数で600件を越え、熱交換器、リアクター、高圧系の配管などの各種フランジ継手部に適用されている。

超音波による締付け管理システム

1. 超音波による締付け管理の利点

現在、プラント設備でのボルト締付け時の管理手法としては、

- 作業員の勘による締付け
- トルクレンチ等を用いたトルク管理
- ボルトテンショナーを用いた軸力管理
- マイクロメーターなどによる伸び管理
- 超音波による伸び管理

などがある。

次に、超音波による締付け管理方法以外の手法を簡単に示す。

作業員の勘による締付け（打撃スパナ等）

豊富な経験に裏打ちされた作業員の勘により、状況・手ごたえなどで判断される締付け方法。打撃スパナの反発具合など微妙な変化をつかみながら実施されるが、個人差や作業環境に左右されやすく締付け度合いは一定しない。

トルク管理による締付け管理

トルク管理は、必要機材が少ないため比較的容易に行われる手法である。管理方法としては、締付けの力（トルク値）が摩擦抵抗と一致したときに締付けが完了する仕組みであるが、ボルトとナット間の摩擦、及びナット座面とフランジ継手間で発生する摩擦がそれぞれ異なり、締付けのバラつきを生じさせる原因となる。正確な管理を行うためには、各部の摩擦状態を均一化させる必要がある。

ボルトテンショナーを用いた締付け管理

あらかじめ規定の荷重をボルトに与えて伸ばし、伸びた状態でナットを締めこんだ後に荷重を解くという手法で締結する。複数個のボルトを一度に締めこむため、トルク管理より精度の高い締付けが可能であるが、ナットの締め込み量が不均一の場合には軸力が変化する。

マイクロメータなどによる伸び管理

伸びによる締付け管理では、最低でも百分の一ミリオーダーの計測が必要とされるが、機材が簡便なマイクロメータなどを使用しての伸び管理では、計測点によって誤差が生じやすいため数値の信頼性にかける。

上記の締付け管理方法に対して、超音波による伸び管理方法は、ボルトの伸びを超音波によって百分の一ミリオーダーでリアルタイムに計測することが可能である。また、超音波の伝播速度や伸びに伴う断面積の変化を補正することより、精度の高い軸力を得ることが可能となった。

この結果、ボルトナットの摩擦抵抗に左右されずに最適軸力での締付けが可能となり、昇温・昇圧を伴う初期運転条件変動にも追従して漏れないフランジ継手を実現できる。

このように超音波による締付け方法は、他の方法より初期の段取りや締付け時間の増加はあるが、締付け不良による漏洩を防止し、基本的にはホットボルトティングの作業を削減できるなど、トータル的なコストメリットを生み出すことが可能な技術である。

これらの利点を踏まえた上で、当社では運転管理面から考えて重要度が高い機器については、超音波による締付け管理方法を顧客に積極的にリコメンドしている。

2. 超音波によるボルトの伸び測定原理

超音波ボルト軸力計の測定原理は、ボルトの一端に探触子をセットし、超音波のパルスを送信させて、他端から反射波が返ってくる時間を計測し長さに換算するものであり、ボルトの締結前と締結後の超音波伝播時間差を計測して、伸びを求めたものである。

当社では、現場における劣悪な作業条件下でのデータ採取を行うため、超音波軸力計に防滴・防塵のタッチパネルPCを通信ケーブルで接続し運用している。

このPCには、当社が独自に開発したプログラムを装備しており、軸力計の操作サポート、及び採取データの記録端末として運用している。

超音波ボルト軸力計を用いた締付け管理の簡単な流れを以下示す。



写真1 締付け管理システム

対象ボルトの両端面機械加工

ボルトの両端面は (6.3S程度)平行度 $\pm 2\%$ 程度に機械加工されているのが望ましい。

この加工が行われていない場合には、パルス反射派が減衰・散乱を受けやすくなり計測誤差が大きくなる。

なお、一度機械加工したボルトは、端面に過度の腐食や傷がない限り、繰り返し計測することが可能である。

ボルト初期長さ計測

ボルトが無負荷時の長さを計測する。この長さを基準点として締付け時の伸びと比較することにより軸力計測可能となる。

ボルトの締付け(仮締付け)

トルク管理やテンショナー管理など、従来の手法にて仮締付けを行う。

超音波ボルト軸力計を用いて締付け管理

超音波ボルト軸力計を用いてボルトの伸びをリアルタイムに計測しながら締付けを行い、目標軸力を均一に分布するように締付け管理を行う。

締付け作業終了時に、総てのボルト軸力を再度計測し、目標軸力に達している事を確認する。

通常、ボルトの締付け時には一本のボルトを締めると、その両隣のボルト軸力が緩和する現象が発生する。その為、通常の締付け方法では適用する軸力(トルク値など)で回らなくなるまで締めるといった行為をとるが、実際にはヒューマンエラーなどにより緩和状態のボルトが残る可能性は十分考えられる。

しかしながら、超音波による締付けではボルト

の締付け状態を総て確認・記録するため、ヒューマンエラーが発生しない利点をもつ。



写真2 締付け管理結果

計測上の留意点

上記の様に超音波による締付け管理は多くの利点を持つが、締付け管理施工の際にはいくつかの留意点が上げられる。

ボルトの端面に不備(腐食、打痕、傷等)があると、計測困難な場合がある。継続して超音波による締付け管理を行う場合には、ボルト端面の取り扱いには注意を払わなければならない。状態が悪い場合には再加工が必要となる。

埋め込みボルトの場合、埋め込み部内に水や油などが入っていると、超音波が散乱し正常な測定が行えない場合がある。

ボルト温度が変化すると、超音波の伝播速度も変化する為、計測時には日陰になるように養生を施す必要がある。

フランジシート面補修技術について

超音波を用いたボルト締付け管理技術は、ボルト軸力が適切な値で保持され、フランジ全体が弾性域で変形することを前提とした技術である。従って、フランジ継手のガスケットシート面に何らかの損傷(傷・打痕・腐食)がある場合や、過度の締付けにより永久歪が残されている場合には、締付け管理だけでは完全に漏洩しないフランジ継手を実現することはできないと考える。

漏洩を防止する上でもうひとつの重要な技術がフランジ継手のガスケットシート面の歪計測技術、及びシート面補修技術である。

フランジ継手シート面に永久歪が生じる主な原因は次の様な点があげられる。

- 過去のボルト締付け力過大における残留歪
- 過度の温度差で生じる熱応力による残留歪
- フランジ継手近傍で溶接補修が実施された時の歪防止対策不備によって生じた歪
- 溶接補修後の熱処理（応力除去のため）に伴う歪

フランジ継手に生じた歪はシート面の傾きと、周方向のうねりの二種類に分けて考察する。

熱交換器等のフランジ継手に関する歪の許容値は、API 660 [Shell-and-Tube Heat Exchanger for General Refinery Service] の7.8項で以下の様に定義されている。

第1表 API 660歪の許容値

区 分		許容率
うねり	375mm	0.08mm以下
	> 375 ~ 750mm	0.15mm以下
	> 750 ~ 1,125mm	0.23mm以下
	> 1,125mm	0.30mm以下
シート面の傾き		0.80mm以下
仕切板のシール部分		0.80mm以下

この値は熱交換器のフランジ継手に関するものであるが、一般のフランジ継手に関しても十分妥当な目安であると考え、当社では歪の許容値としている。

この中で、シート面の傾きは容易に計測できるが、シート面のうねりは計測が困難である。そこで当社では、歪計測を容易にするために「フランジ歪計測器」を開発し現場に適用している。この



写真3 フランジ歪計測器

機器は軽量・コンパクト・設置の容易さの利点を持ち、専用の作業員によるシート面の計測は一面約20分で可能である。

当社顧客の事例では、定期修理期間に開放された複数機器の歪をこの測定器で測定し、要注意機器を把握し、次回開放時の補修計画の指標に用いる事例が多い。

前述の歪計測器により、許容値以上の歪が認められた機器については、漏洩の防止の観点から歪の除去を速やかに行わねばならないと考える。



写真4 フェーサーによるガスケット面補修作業

第2表 フランジ歪測定器・適用範囲

形式	F-1600	T-1600	P-1600	P-1000
適用範囲	一般フランジ	チューブシート用	仕切溝用	仕切溝用
計測範囲(mm)	300	~ 1,600	~ 1,600	~ 1,000
備考	F-1000を大型化	固定看板可 背面計測可	チューブシート チャンネルシート	チューブシート チャンネルシート

第3表 フランジフェーサー適用範囲

形式	フランジフェーサー					ミルマシーン
	AX4896	SX2460	AX630	AX024	SX012	FM066
切削範囲(mm)	2,800～1,350	1,550～620	750～220	574～0	265～0	1,676-0
切削範囲(mm)	2,420～1,290	1,470～650	750～160	584～350	360～170	
切削範囲(mm)	1441	333	121	190	57	180
備考	実績最大加工直径 2800mm	主に熱交換器の 補修に使用	主にマンホール フランジ継手の 補修に使用	オプションで 楕円ガスケット面 加工可能	主に小径ノズル に使用	チューブシート 仕切面用

現場から取り外し移動できる機器部品（熱交換器のチャンネル部やリアクターの上部マンホール部分等）は工場での機械補修が可能ではあるが、機器本体のフランジ継手等は現場で対応をせざるを得ない。

これに対してはフェーサーを用いて対応が可能である。当社で保有するフェーサーのラインナップは第3表のとおりである。

当社保有フェーサーは、バイト切削だけで相当の表面仕上げを得ることが可能である。切削後の残留歪も、標準取り付け状態で1m当たり1/100mm程度に収める性能を持つ。また、溝形状に対応した研磨キットを取り付けることにより、リングガスケット溝を6.3S（ ）程度の表面粗さ仕上げも可能である。

この様に、顧客現場での補修精度の向上を目指した加工技術であり、現在までも多くの顧客から当該技術の実施を要請されており、施工及び実績を重ねている。

おわりに

フランジ継手からの漏洩は様々な要素を含んでおり、原因を突き止めるには、漏洩の原因を確かめ適切なアプローチを取ることが重要である。

今後もプラント運転期間の長期化に伴い、フランジ継手部ではこれまで潜在していた様々な問題（フランジ材質自体の問題や熱的影響、又はボルト材質に関する問題等）が発生することが予想される。

当社ではここに紹介したシステムを最大限に活用するとともに、現在ASMEまたはJPIで規格化されるボルト締付けの基準の方向性も積極的に盛

り込む考えであり、今後も顧客の問題解決のニーズに答える技術を提供し続けたいと考えている。

【筆者紹介】

桐原 玲

新興プランテック

事業部 メンテナンス推進部 メンテナンス計画Gr
主務

〒235-0017 横浜市磯子区新磯子町27-5

TEL : 045-758-1739 FAX : 045-758-1979

E-mail : kriharare@S-platech.co.jp

<主なる業務歴及び資格>

現在、新興プランテック メンテナンス推進部メンテナンス計画Gr所属。平成7年3月秋田大学鉱山学部生産機械工学科卒業後、新潟工事（現新興プランテック）入社。メンテナンス推進部に所属しメンテナンスに関する調査研究に従事。

新興プランテック株式会社

<代表者名> 新庄 信

<本社住所>

〒230-0052 横浜市鶴見区生麦4-5-11

TEL : 045-509-7331 FAX : 045-509-7359

URL : <http://www.S-platech.co.jp>

E-mail : info S-platech.co.jp

<資本金> 1,997百万円 <年商> 55,014百万円

<従業員数> 915名

<主要取引先>

新日本石油精製、東燃ゼネラル石油、出光興産、三菱化学、日本ゼオン

<事業内容及び会社近況>

石油・化学その他各種産業設備、環境装置のエンジニアリングおよびメンテナンスを主な事業内容として展開している。現在は、顧客業務のアウトソーシングに伴うメンテナンス業務の一括受注や中小企業の一括受注などに努めている。