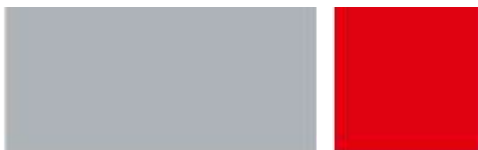


LOCTITE
確実な成功に向けて

画期的製品による信頼性向上に関する 新たな洞察

レビュー: Robert Dunkel, P. Eng. ,

Director of Technical Service, Henkel Corporation (2014年12月)



LOCTITE®
BONDERITE®
TECHNOMELT®
TEROSON®
AQUENCE®



Excellence is our Passion

概要

根本原因分析は、設備の重要部品が故障したときによく用いられる手法である。真の根本原因を分析するためには「なぜ？」を5回繰り返さなければならない。複数のケーススタディを調べたところ、5回目の「なぜ？」で故障モードは「ねじのゆるみ」であると特定され、不十分な締め付け荷重が根本原因ではなかったことが明らかになった。

本稿は、ケーススタディと試験データをもとに、一般的な機械のゆるみとシール不良の根本原因に関する新たな洞察を提供するとともに、一部の根本原因は「従来とは異なる」化学的ソリューションによって最も効果的に対処可能である理由を考察する。

ボルトによる締結部は、ねじ部の締め付け荷重、トルク、軸力の関係により非常に複雑である。一般的な認識として、指定のトルクでボルト締めした接合部には一定の締め付け荷重が加わる。複数のメーカーから同一のボルトを調達し、ロードセルを用いて試験した結果、受入時の状態のまま指定のトルクで締めたとき、実際の締め付け荷重は20%以上もばらつきがあることが明らかになった。しかし、ねじ部に化学的処理を施すことによりこのばらつきを大幅に低減し、さらに信頼性を高めることができる。

気体や流体の漏れは、保守の信頼性に関するよく見られる問題である。一般的なフランジ構造やねじ継ぎ手では根本原因分析が行われてきた。分析結果をもとに故障モードを特定すれば、各種の封止剤で対処可能である。

機械設備の信頼性は多くの要素の影響を受ける。過去の経験から、影響を及ぼしうるさまざまな要素が確認されている。中には長年見受けられるが、従来とは異なる性質の要素も多い。

本稿では、以下の議論を通していかにして信頼性の高い接合を行うかを考察する。

故障の真の根本原因

根本原因分析は、設備の重要部品が故障したときに用いられる手法である。故障の真の根本原因を分析するためには、「なぜ？」を5回繰り返して最も基本的な要素まで問題を分解しなければならない。

複数のケーススタディを調べたところ、5回目の問いで、根本的な原因はねじのゆるみまたはパッキンの漏れにたどり着くことが分かった。しかし、これでは組付プロセスを掘り下げて調査していないため発生原因が不明であり、再発を防止できない。ゆるんだボルトや漏れが起きたパッキンを調査すると、締結時の不十分な締め付け荷重に行き着くことが多い。これが真の根本原因であるが、適切な組付手法を用いることで回避することができる。

ボルト接合のメカニズム

最も基本的な形状では、ボルト締めした接合部はくさびを円筒に巻き付けたものと考えることができる。ボルトが回転すると、ねじ山が2つの部品にうまく押し込まれる。ボルトを回転させるほど高い締め付け荷重が加わる。

実際の構造物では、組み付けた時にナットとボルトが固定されないように交差を設定する。すなわち初期状態において、ナットとボルトの公差の組み合わせによってボルト接合部のすきまが異なる。

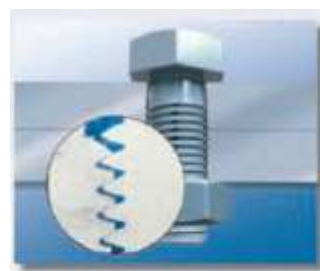


図 1.ボルト締結の交差

ボルトの表面仕上げは、ボルトの製造方法、製造に使用した金型、成形技術と関係がある。広く知られた規格に適合したねじ部品でも各社で製造プロセスが若干異なることから、表面仕上げとボルト首下の山形に軽微なしかし最終的には著しい違いが生じ、ボルト締結体に影響が及ぶ。

ねじ部品の組み付けでは、潤滑剤の有無によって摩擦係数は大きく異なる。メーカー受入時、ボルトにはコーティングまたはめっき、切削油の残留物、さび止め油などが付着していることがある。問題は、これらが文書に記録されておらず、ボルト締結部への影響がしばしば見過ごされる点である。

大半のねじ部品は、振動にさらされる動的システムで使用される。大きな振動が目立ちがちであるが、長期間小さな力が働いて起こる振動も問題を発生させる可能性がある。たとえば電気関連では、主分電盤は AC 電源の経時的影響を受けることから、一般に位置決めねじを増し締めする必要がある。

ボルト締結体は変動要素を含むため、モデル化することが難しい。前述のとおり交差、表面粗さ、摩擦面のすべてが組付に影響を及ぼし、問題につながる可能性がある。

振動によるゆるみ

振動の影響は交差に関係する。振動を受けると機械は前後に動く。ボルトの締結部分は、製造公差として多少の遊びがある。単純化して考えると、ボルトで十分に締結すれば、面摩擦によって締結部分のゆるみは起こらない。

機械が生じる一定の振動下では、ボルトの締結部は互いに相対的に動く。発生頻度はさまざまであるが、高周波が発生するとたちまちゆるみやすくなる。先ほど接合部をくさびにたとえたが、前後運動は、スキー板を履くと前後に滑るようなものである。スキーではそのような状態で斜面(最も抵抗の少ない道)を下っていく。ボルト締結体は前後運動によってバラバラになる。

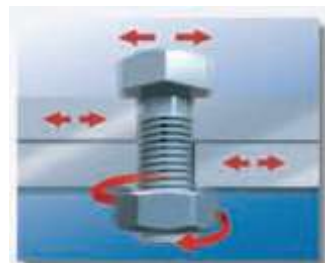


図 2.振動によるボルト締結体の運動

この問題を解消する多くの方法が市場で提供されている。より効果が得られる方法の 1 つが、接合部に自己硬化性接着剤を塗布して、機械加工公差のすきまを固形物で充填することである。締結部の遊びをなくすことにより、故障の根本原因に対処する方法である。



図 3.締結体のすべての内部すきまをシールする

振動を止めるための機械的手法は、設計および効果の面で多岐にわたる。非常に効果的な優れた方法もあるが、ゆるみ止め接着剤を用いる化学的手法に比べて非常にコストがかかる。

50 年以上の使用実績があるにもかかわらず、ゆるみ止め接着剤は今なお比較的新しく証明されていない技術と考えられている。ゆるみ止め接着剤は最も費用がかからない方法の 1 つでありながら高い性能を発揮する、コストパフォーマンスに優れた技術である。

締め付け荷重に対する摩擦の影響

ボルトで締結して組み付けると、締結体にエネルギーが加わることで締め付け荷重が発生し、これによりボルトが伸びる。さらにボルトの伸びが締結部を圧縮して締め付け荷重が生じる。このような状態にするためには、最もよく用いられる方法として、所定の締め付け荷重に等しい既知のトルクを加えればよい。一般的な認識では、ボルト接合部に所定のトルクを加えると一定の締め付け荷重が生じる。

どのようなナット、ボルトも表面粗さにより摩擦が生じる。これは、トルクすなわちエネルギーを加えて締結、組み付けるとき、発生した締め付け荷重は、ボルトの伸びによって生じる締め付け荷重のエネルギーと関連があることを意味する。

ボルトの伸びを正確に測定する方法はあるが、一般用途では限られている。例えば、自動車のシリンダーヘッドでよく用いられるボルトの軸力の降伏点(トルク)や風車タワーの土台の固定でよく行、ボルトの伸びを振れゲージで直接測定する方法がある。

ボルトの伸びを定量化するために次のような試験を行った。

メーカー間でのボルトのばらつき

当社の長年の見解では、ボルトに推奨トルクを加えたときに大きなばらつきが生じるのは、表面仕上げとボルト首下の設計にばらつきがあるためである。

この仮説を検証するために、メーカー5社から5/8インチ並目グレード5の亜鉛めっきを施したボルトとナットを調達して試験を行った。校正済みのトルクレンチを使って112 ft-lb (152 Nm)のトルクでボルトを締め付けた。

それぞれのボルト締結体を Skidmore-Wilhelm 社の締め付け荷重試験機にセットした。締結体にトルクを加えると流体貯蔵部が押し潰される。発生した圧力を測定すれば、既知のピストン径との相関係数から締め付け荷重が分かる。



図 4.荷重試験機でボルトにトルクを加える

最初に、受入時の状態のボルトを用いて試験し、締め付け荷重のばらつきを明らかにした。表 1 から締め付け荷重の標準偏差は 4,100 lbs (約 1,845kg) (21%)であることが分かる。

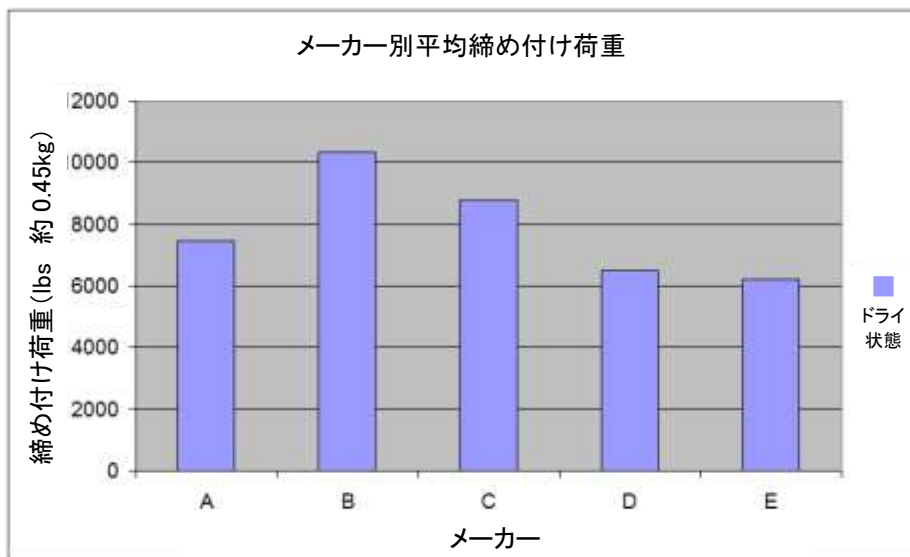


表 1.受入状態でのボルト締め付け荷重のばらつき

コスト削減の時代にあって、メーカーがコストを理由に互換部品を買い求めることは珍しくない。したがって、適切に校正したトルクレンチを使っても、締め付け荷重のばらつきは大きくなる可能性がある。

2回目の試験では、1回目と同じ5社から調達したボルトにゆるみ止め接着剤を塗布して効果を確認した。表2の結果から、締め付け荷重のばらつきが大幅に低減したことが分かる。

絶対値で見ると、締め付け荷重の最大値と最小値の差は 1,300 lb (約 585kg)まで減少した。液状のゆるみ止め接着剤を使うことで、締め付け荷重のメーカー間のばらつきが低減された。

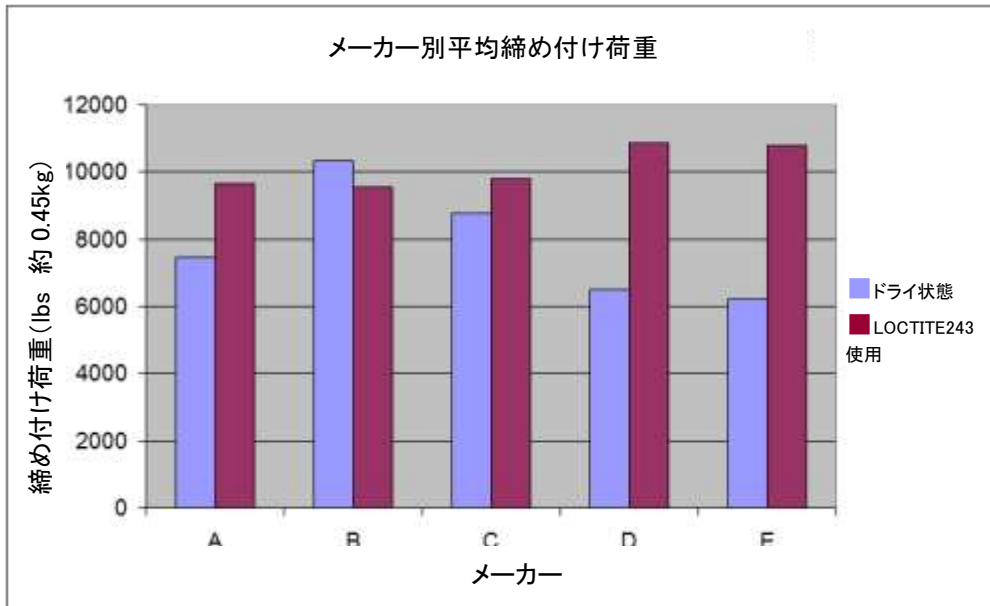


表 2.ゆるみ止め接着剤を塗布したボルトの締め付け荷重のばらつき

ボルト締結体におけるばらつきの低減は、ゆるみ止め接着剤を使うことの重要なメリットといえる。潤滑剤として使用する物質を指定することで安定した潤滑性が得られる点も大きなメリットである。ゆるみ止め接着剤は、振動によるゆるみを抑えるだけでなく、ばらつきを低減することで締め付け荷重をさらに安定化させることができる。

画期的なゆるみ止め接着剤—代替となる形状

ゆるみ止め接着剤を導入する上での障壁の1つは、液体を持ち運ぶと漏れるかもしれないという保守要員の懸念であった。この問題を解決するために、特許取得済みの技術を用いた固体状の「スティック」タイプのゆるみ止め接着剤の開発が進んでいる。

この革新的技術は、工具箱やポケットに手軽に入れてすぐに使える製品の実現を目標として、現場や機械の設置場所での用途向けに開発された。さらに副次的な利点として、これを所定の方法にすれば、ユーザーは前もってあらゆる締結体にゆるみ止め接着剤を塗布できるため、再組付の時間が短縮される。

画期的なゆるみ止め接着剤—不活性材質ならプライマー不要

エンドユーザーが抱く懸念の1つに、アルミニウムなどの化学的に不活性な材質に可燃性プライマーを塗布しなければならないことがある。安全上の理由から、多くの工場と鉱山は可燃性プライマーの使用を禁止していた。

通常、ゆるみ止め接着剤は硬化のために遊離金属イオンが必要であるが、これは鋼材などの腐食性金属の表面に存在する。プライマーなしで硬化する材料の開発も積極的に取り組まれている。実現されれば工程を1つ削減できるだけでなく、作業場に可燃性溶剤を置かずに済む。プライマー不要の材質は、現場でゆるみ止め接着剤をさらに普及させるための大きな一歩となる。

気体や流体の漏れは、保守の信頼性に関するよく見られる問題である。一般的なフランジ構造やねじ継ぎ手では根本原因分析が行われてきた。分析結果をもとに故障モードを特定すれば、各種の封止剤で対処可能である。

まとめ

ボルトによる接合部は、ねじ部の締め付け荷重、すなわちトルクと軸力の関係が非常に複雑である。一般的な認識として、指定のトルクでボルト締めした接合部には一定の締め付け荷重が加わる。複数のメーカーから同一のボルトを調達し、ロードセルを用いて試験した結果、受入時の状態のまま指定のトルクで締めるとき、実際の締め付け荷重は20%以上もばらつきがあることが明らかになった。しかし、ねじ部に化学的処理を施すことでこのばらつきを大幅に低減し、さらに信頼性を高めることができる。