

〈技術レポート〉

# ふっ素樹脂系ガスケットを用いた フランジ締結体におけるボルトの増締めの効果 (常温における長期特性)

沼津工業高等専門学校 小林 隆 志  
三菱化学株式会社 西 浦 謙 剛  
ニチアス株式会社 平 塚 雅 章

## 1. はじめに

ふっ素樹脂系のガスケットは耐薬品性に優れることから、化学プラントなどの配管系のフランジ締結体に数多く用いられている。ふっ素樹脂系のガスケットはクリープ-緩和特性によるボルト軸力の低下が大きいことが知られており、ボルト軸力の低下によって密封性能の低下が懸念されるとともに、内圧による荷重および地震などによる配管外力により漏えい事故の危険性が高まるので、増締めにより適切にボルト軸力を管理することが必要である。しかし、ふっ素樹脂系のガスケットを用いたフランジ締結体のボルト軸力低下挙動および増締めの効果については、短期間の実験により検討した研究<sup>1)</sup>はあるが、増締めを行うことによりボルト軸力が安定し、長期間にわたって維持されるかどうかなど、増締めの効果に関する文献はみあたらない。

以上のような背景から、2009年より3年間、沼津工業高等専門学校、三菱化学株式会社、ニチアス株式会社の三者により、ふっ素樹脂系のガスケットの常温・高温特性、またこれらのガスケットを用いたフランジ締結体の常温・高温特性の研究を行った。

本稿は、実施した共同研究の成果のうち、ふっ素樹脂系ガスケットを用いたフランジ締結体の常温におけるボルトの増締めの効果<sup>2, 3, 4)</sup>について述べる。具体的には、ふっ素樹脂系のガスケッ

トとして、特殊充填材入りふっ素樹脂ガスケット、延伸PTFE（四ふっ化エチレン樹脂）ガスケットを用いたフランジ締結体を用いて、常温における長期間のボルト軸力の低下および密封性能に与える増締めの効果を検討した結果である。

## 2. 実験装置

図1に示す2組のフランジ締結体（材質SUS304、呼び径50A呼び圧力10K）を準備した。ボルトはM16のスタッドボルト（材質SNB7）4本であり、ボルトには軸力測定のためにひずみゲージを埋め込んだ。実験に用いたガスケットは特殊充填材入りPTFEガスケットTOMBO No. 1133「クリンシル®クリーン」（以下、ガスケットA）および延伸PTFEガスケットTOMBO No. 9096-SGM「SGM®ガスケット」（以下、ガスケットB）であり、いずれも厚さは3mmとした。

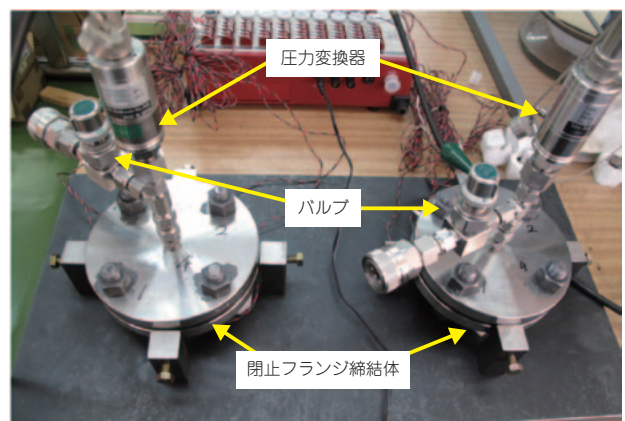


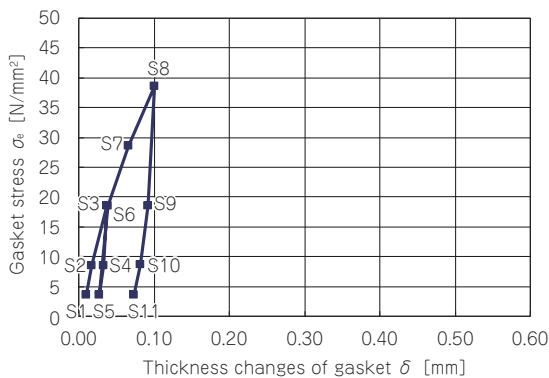
図1 実験装置

それぞれのガスケットについて、ボルトの初期締付け力30kNとし、増締めを行わない場合および96時間で増締めを実施した場合の実験を行った。なお、ガスケットBについては、増し締めのタイミングの影響を調べるために増締めを1時間後、4時間後と変化させた場合についても実験した。フランジ締結体には、ヘリウムにより内圧1.5MPaを作用させた。バルブを閉じた後、内圧降下を圧力変換器により測定し、漏れ量を計算した。試験期間は約2か月である。

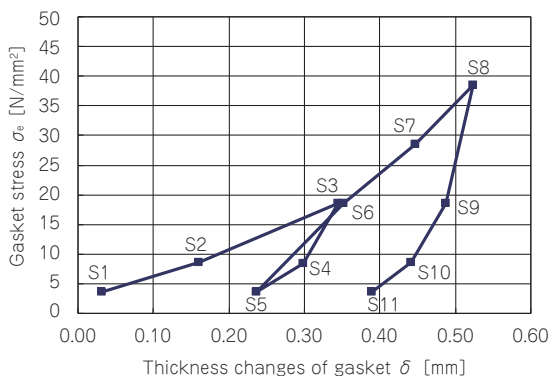
### 3. 実験結果

#### 3.1 ガスケットの変形特性

図2は試験に用いたガスケットの変形特性の比較を示す。試験はガスケット試験方法JIS B 2490<sup>5)</sup>に基づいて実施した。図中のS1~S11はJIS B 2490に規定されている試験シーケンスにおけるガスケット締付けの段階を示している。ガスケットAとBの特性を比較すると、ガスケット



(a) ガスケットA



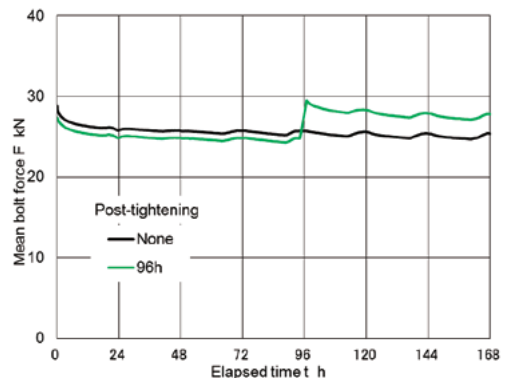
(b) ガスケットB

図2 ガスケットの変形特性

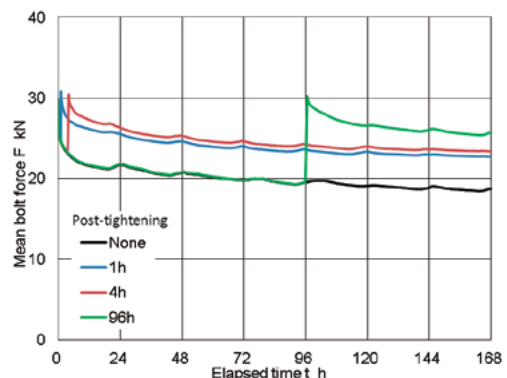
Aは変形能が小さく（剛性が高い）、ガスケットBは変形能が大きい（剛性が低い）ことがわかる。これはガスケット材料の材質と内部構造によるものであると考えられる。ガスケットBは延伸PTFEの内部の空隙によって変形能が高くなっている一方、ガスケットAは充填材の混合により変形能は小さくなっていると考えられる。

#### 3.2 ボルト軸力への増締めの影響

図3は初期締付け後のボルト軸力の変化に与える増締めの影響を示す。測定期間1週間の結果である。ガスケットAの場合、初期締付け直後にボルト軸力の低下が見られるが、24時間程度経過後にはほぼ安定していることがわかる。96時間経過後に初期締付け力と同じ30kNまで増締めすると、その後、増締めをしない場合に比べて高いボルト軸力が維持されている。一方、ガスケットBの場合にはガスケットAに比べて初期締付け直後のボルト軸力低下が大きい。その後、ボルト軸力低下は緩やかになるものの、



(a) ガスケットA

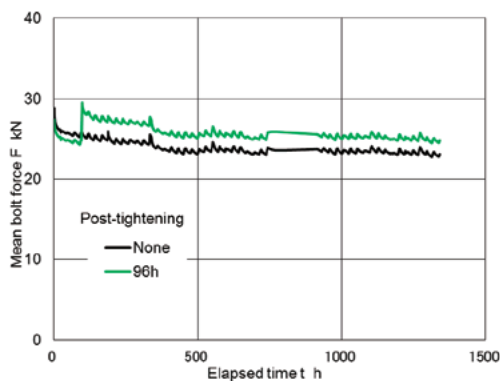


(b) ガスケットB

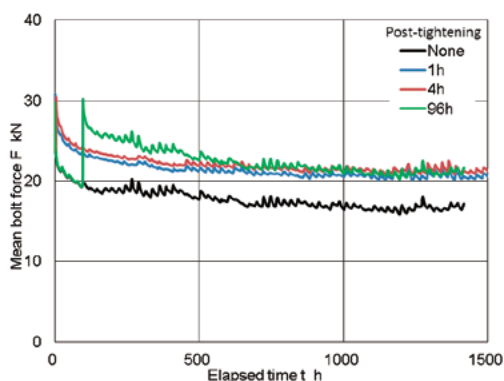
図3 ボルト軸力変化および増締めの影響(測定期間1週間)

増締めをしない場合には1週間でボルト軸力は20kN以下に低下している。延伸PTFEではガスケット内部の空隙部分が締付け力の作用を受けてつぶされることにより、ボルト軸力が大きく低下しているものと考えられる。初期締付けから1時間、4時間および96時間経過した後に、初期締付け力である30kNまで増締めを行った。ガスケットBではガスケットAに比べて、初期の軸力低下が大きいので、増締めによる軸力増加が大きい。増締め後もボルト軸力は低下するものの、増締めによるボルト軸力回復の効果が確認できる。遅いタイミングで増締めをした方が、ボルト軸力は高くなっている。

図4は増締め後約2か月間のボルト軸力の変化を示す。図中の短周期の軸力変動は日中の温度変動によって生じたものである。ガスケットAの場合、初期締付け後、ボルト軸力は約500時間程度まで漸減するが、その後安定している。96時間経過後に増締めすると、増締めしない場合に比べて、高いボルト軸力が維持されている。



(a) ガスケットA



(b) ガスケットB

図4 増締め後のボルト軸力変化 (測定期間2か月)

しかし、初期締付け後のボルト軸力低下自体が小さいので、必ずしも増締めは必要ではないと考えられる。ガスケットBの場合、初期締付け後、ボルト軸力は600時間程度まで漸減した後、安定した。ボルト軸力に与える増締めのタイミングの影響を見ると、増締め後の経過時間が短い時には、96時間後の増締めの場合のボルト軸力が高いが、600時間程度経過すると、増締めのタイミングによるボルト軸力の明確な差は見られなくなっている。増締めを行わなかった場合と比較すると、増締めによりボルト軸力は高い値で安定していることから、増締めの効果が認められる。また、増締めは、タイミングによらず実施することが重要であるといえる。

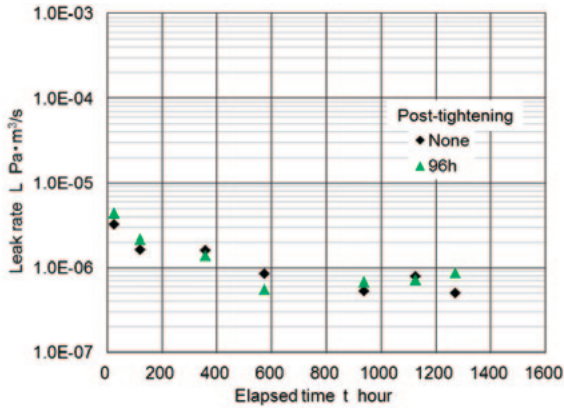
### 3.3 密封特性への増締めの影響

図5は密封特性に与える増締めの影響を示す。測定期間2か月間の結果である。初期締付け時の漏えい量について見ると、ガスケットAはガスケットBに比べて、30分の1程度となっている。ガスケットBの材質は延伸PTFEであるので、ガスケット内部の空隙のために浸透漏えいが多いが、充填材入りPTFEのガスケットAではガスケット内部の空隙が小さいので、浸透漏えいが少ないものと考えられる。

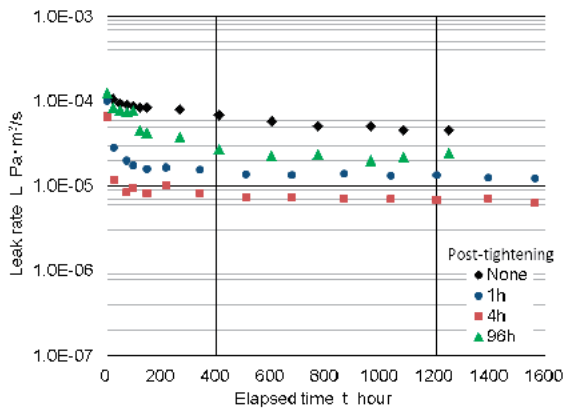
増締めの効果について見ると、ガスケットAでは漏えい量に大きな変化はないことから、密封特性の観点からは増締めは必要ない。一方、ガスケットBの漏えい量は、増締めのタイミングで差はあるものの、いずれの場合にも増締め後に減少していることから、密封特性の観点から増締めは有効である。密封特性の観点から、適切な増締めのタイミングが存在するかどうかについては、今後検討する必要がある。

### 3.4 長期特性 (1年間)

ガスケットBについては、初期締付け後1時間および4時間で増締めを行った場合について、1年間の長期にわたってボルト軸力および漏えい量の測定を継続した。試験は2010年10月に開始し、翌年2011年の10月まで1年間継続した。図6(a)は増締め後のボルト軸力の変化を示す。図4に示したようにほぼ600時間程度で安定したと思われるボルト軸力はさらに2000時間程度まで減



(a) ガスケットA

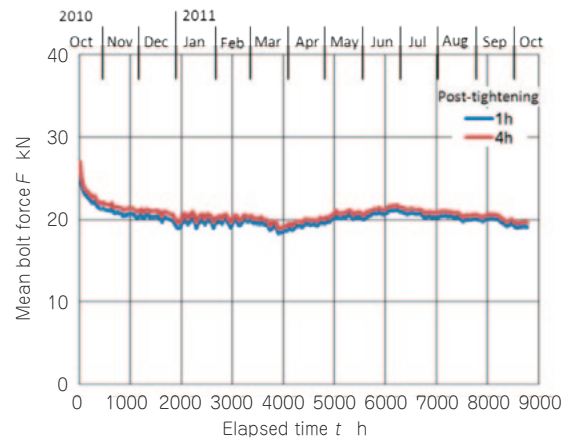


(b) ガスケットB

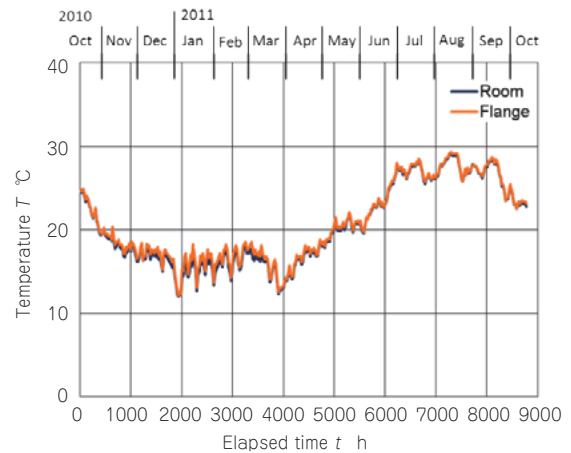
図5 増締め後の密封特性変化 (測定期間2か月)

少を続けている。この理由は、図6 (b) に示す試験期間中のフランジ締結体の温度変化によるものと考えられる。すなわち、ガスケットおよびフランジ (材質SUS304) の線膨張係数がボルト (材質SNB7) に比べて大きいことから、試験開始の10月から12月にかけて、実験室の温度が低下したことによって、ボルト軸力が低下したのではないかと考えている。2011年3月末頃から夏にかけて実験室温度が上昇した際にはボルト軸力は増加している。以上のように、延伸PTFEガスケットを用いたフランジ締結体では、ガスケット-フランジ-ボルトの熱膨張特性により、長期的には環境の温度変化によってボルト軸力は変化するものの、締結初期のガスケットのクリープ-緩和特性による軸力低下はほぼ1か月程度で安定するものと考えられる。

図7は密封特性の長期変化特性を示す。初期増締め付け後1時間および4時間の増締めを実施した



(a) ボルト軸力



(b) 温度変化 (朝5時時点)

図6 ボルト軸力の長期変化特性 (ガスケットB, 測定期間1年間)

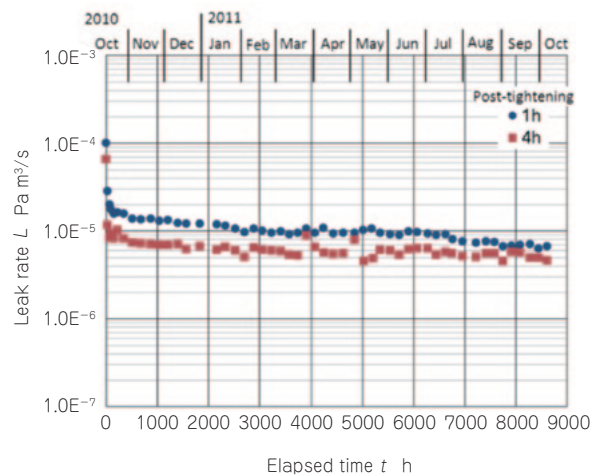


図7 密封特性の長期変化特性 (ガスケットB, 測定期間1年間)

場合の漏えい量を比較すると、両者にはやや差はあるものの、増し締めにより向上した密封性能は、時間の経過とともにさらに向上している傾向がみられる。これは、長時間の間にガスケットのクリープ-緩和が進行し、延伸PTFEの空隙が小さくなったためであると考えられる。

#### 4. まとめ

ふっ素樹脂系のガスケットである、特殊充填材入りふっ素樹脂ガスケット、延伸PTFEガスケットを用いたフランジ締結体の、常温における長期間のボルト軸力の低下および密封性能に与える増し締めの効果を検討した。得られた結果は次の通りである。

1) フランジ締結体のボルト軸力低下は、ガスケットのクリープ-緩和特性によって異なるので、増し締めの要否はガスケットのクリープ-緩和特性を考慮して判断する必要がある。

2) 充填材入りふっ素樹脂ガスケットの場合、初期締付け後の軸力低下が小さいので、増し締めの効果は小さい。増し締めによる密封性能の向上もみられないことから、増し締めの必要性は低い。

3) 延伸PTFEガスケットの場合、初期締付け後のボルト軸力低下が大きいため、増し締めを実施することは有効である。密封性能の観点からも増し締めは有効である。

4) 延伸PTFEガスケットの場合、長期的にみると、増し締めのタイミングは残留ボルト軸力に大きな影響を与えないので、増し締めのタイミングによらず、増し締めを実施することが重要である。

5) 延伸PTFEガスケットの場合、増し締め後もボルト軸力は漸減するものの、600時間程度で安定し、その後ボルト軸力は長期間維持される。なお、ボルト軸力は環境の温度変動の影響を受けて変動する。

本稿では、常温におけるふっ素樹脂系ガスケットを用いたフランジ締結体の増し締めについて述べたが、実際のフランジ締結体ではボルト軸力に与える温度の影響が大きいため、温度の影響を考慮して、増し締めの要否を検討する必要がある。フランジ締結体のボルト軸力への温度の影響については、別の機会に報告する予定である。

\* TOMBOはニチアス(株)の登録商標または商標です。

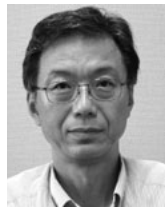
\* クリンシルはニチアス(株)の登録商標です。

\* SGMは日本ゴア(株)の登録商標です。

#### 参考文献

- 1) A. F. Waterland, J. E. B. Frew, 2006, "Determination of Optimum Re-Torque Dwell Period for PTFE Based Gaskets", ASME PVP-2006-ICPVT-11-93088, CD-ROM.
- 2) Hagiri, T., Kobayashi, T., Nishiura, K., Uchiyama, K., "Effects of Post-Tightening on the Residual Bolt Force and the Sealing Performance of Flanged Connections with PTFE Gaskets (Long Term Effects at Room Temperature)", ASME PVP2011-57757, CD-ROM.
- 3) Kobayashi, T., Hagiri, T., Nishiura, K., Hiratsuka, M. and Itoi, K., "The residual Bolt Force and the Sealing Performance of Flanged Connections with PTFE Gaskets (Based on Test Results for One Year)", ASME PVP2012-78694, CD-ROM.
- 4) Kobayashi, T., Nishiura, K., Hiratsuka, M. and Itoi, K., "Deflection of Gaskets and its effect on Tightness of Flanged Connections in Long Term" ASME PVP 2013-97729, CD-ROM.
- 5) JIS B 2490 : 2008, 管フランジ用ガスケットの密封特性試験方法.

#### 筆者紹介



##### 小林隆志

独立行政法人 国立高等専門学校機構  
沼津工業高等専門学校  
機械工学科 教授  
博士 (工学)  
技術士 (機械部門)

#### 筆者紹介



##### 西浦謙剛

三菱化学株式会社  
水島事業所 設備技術部 機械3グループ  
グループマネージャー

#### 筆者紹介



##### 平塚雅章

ニチアス株式会社  
工業製品事業本部  
配管・機器部品技術開発部  
部長