

ガスケット締結体の面圧挙動と増締めの効果

1. はじめに

ガスケットのシール性は面圧の影響を大きく受ける。長期にわたりシールを維持するためには面圧を高く保ち続けることが重要である。しかしながら、ガスケットには時間や温度の影響により、応力緩和やクリープ(以後、クリープ緩和と呼ぶ)が生じるため、徐々に面圧が低下することは避けられない。低下した面圧を回復させるための手段としては増締めが有効であるが、増締めの実施タイミングや方法は規格などにより定められてはおらず、ユーザーの判断に委ねられているのが現状である。

本報では、より面圧を高く保持することを目標に、温度、時間が応力緩和に与える影響や、増締めの実施タイミングによる効果の違いについて定量的な評価を行い、検討した結果を示す。

2. クリープ緩和と増締め効果の定量的把握

2-1) 時間経過に伴うガスケット面圧の低下

増締めの効果を定量的に評価するため、まず面圧の低下を測定した。Figure1に試験装置の概要図を示す。

試料とするガスケットをひずみゲージを取り付けたボルトで試験フランジに締結する。ひずみゲージにより測定されたボルト軸力と、ガスケットのシール面の面積から面圧を算出する。

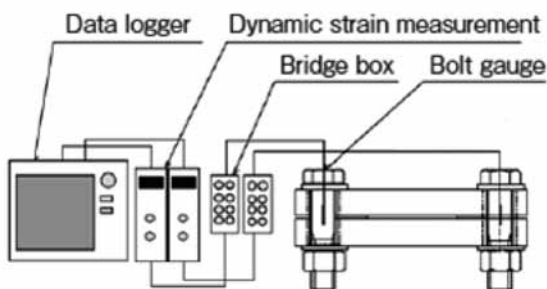


Figure1 フランジ締結体の面圧測定装置

これにより締結後のガスケット面圧の変化を継続的に評価した。また、ひずみゲージは耐熱性のあるものを用いており、締結体を電気炉やバンドヒータなどで加熱することにより高温での使用環境を模擬した状況で評価を行うことが可能である。

この試験装置を用いて常温/200℃、および常温-200℃の運転サイクルを模擬した温度条件での面圧の変化を測定した。

Table1に試験条件を示す。試料ガスケットには、石綿ガスケット代替品として広く普及している高機能シートガスケットであるNo.GF300を用いた。

Table1 試験条件

試験温度	常温、200℃ 常温/200℃サイクル(24時間)
ガスケット	No.GF300 厚さ: 1.5mm
フランジ座寸法	JIS 10K 50A RF
フランジ仕様	材質: SS400 シール面粗さ(Rz): 14.4μm (Ave.)
ボルト (ひずみゲージ付)	材質: SS400 寸法・本数: M16×4本

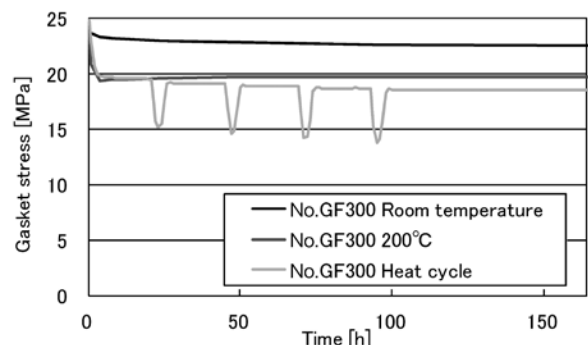


Figure2 時間経過に伴う面圧の低下

結果をFigure2に示す。200℃およびサイクル条件では昇温や冷却に伴って面圧が低下することが分かる。昇温時の面圧低下については、高温ではガスケットの剛性が低下して塑性変形が進むことからボルトが緩み、軸力が低下したためと考えられる。

冷却時の面圧低下については、高温においてガスケットとフランジやボルトの線膨張係数の差から熱応力が生じ、ガスケットの圧縮永久ひずみが更に大きくなった状態から冷却されることでボルトが緩み、軸力が低下したためと考えられる。再加熱後も温度を200℃で保持し続けた場合と比較して早く面圧が低下していく結果となった。

高温箇所での漏洩のリスクが高まることは経験則で知られているが、実験結果からもそれが裏付けされた。また、サイクル運転が行われた場合、冷却時に面圧が大きく低下し、再始動時に漏洩するリスクが高まるほか、定常運転を行った場合と比較して面圧が落ちやすいことが確認された。

2-2) 増締め効果

増締めには、所定温度に到達後、高温にて行うホットボルディングと、サイクル運転における冷却時に常温で行うコールドボルディングの2種類がある。2-1)で示したサイクル運転条件に対して、ホットボルディングとコールドボルディングによる増締めをそれぞれ実施し、その効果を比較した。試験条件をTable 2に、結果をFigure3に示す。

Table2 試験条件

試験温度	200℃
ガスケット	No.GF300 厚さ: 1.5mm
フランジ座寸法	JIS 10K 50A RF
フランジ仕様	材質: SS400 シール面粗さ(Rz): 14.4 μm (Ave.)
ボルト (ひずみゲージ付)	材質: SS400 寸法・本数: M16×4本
増締めタイミング	ホットボルディング: 加熱24時間後(200℃) コールドボルディング: 加熱24時間後冷却時(常温)

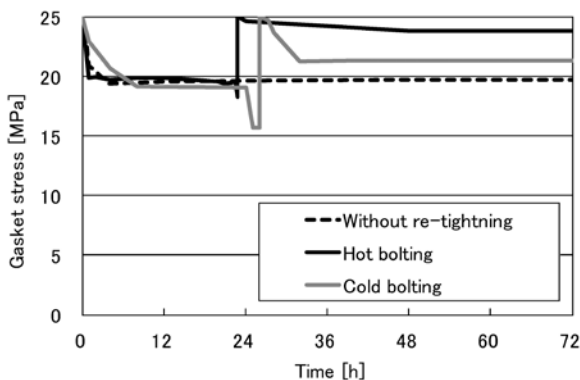


Figure3 ホットボルディングとコールドボルディングの比較

増締めを実施した場合、いずれの方法においても増締めを実施しない場合と比較して残留ガスケット面圧が高くなり、面圧を保持する効果が確認された。また、ホットボルディング

とコールドボルディングを比較すると、ホットボルディングによる増締めを実施した場合の方が、増締め後の残留面圧が高く保たれる結果となった。これは、コールドボルディングの場合にはガスケットの剛性が比較的高い状態で増締めを行うため、増締め後に再度昇温する過程で、初期の昇温時と同様に、ガスケットの剛性低下による塑性変形が生じるためと考えられる。一方、ホットボルディングによる増締めは高温で行われ、増締め作業時とその後でガスケットの剛性に变化が無いため面圧の低下が小さいと考えられる。

ただし、ホットボルディングは剛性が低下した変形しやすい状態のガスケットを締付けるため、過剰な締付けによるガスケットの破壊を招きやすい。いわゆる締めごたえも、常温で締付ける場合と比較して感じにくくなるため、トルク管理などを行うことを推奨する。また、2-1)で示したように面圧が最も低下するタイミングは冷却時であり、この時点でコールドボルディングによる増締めを行うことは、再始動時の漏洩を防止するという観点からは効果が高いと考えられる。

3. 増締めタイミングの違いによる影響

3-1) 増締め実施温度の違いの影響

ホットボルディングによる増締めは所定温度到達後に実施されることが多いが、大口径の配管などでは所定温度に到達するまでに時間を要するため、待機時間が増加することになる。昇温中の増締めでもガスケット面圧が高く保持できれば、温度到達まで待つ必要がないため、施工時間が短縮でき、工事費が削減できると考えられる。ここでは昇温中に増締めを実施した場合のガスケット面圧挙動を確認した。試験条件をTable3に示す。目標温度を200℃とし、常温、100℃、150℃、200℃(所定温度到達直後)にてそれぞれ増締めを実施した。常温での増締めは、ガスケットのクリープ緩和が安定すると考えられる、初期締結から24時間経過後に実施した。試料ガスケットには、No.GF300と同じ高性能シートガスケットであるNo.MF300を用いた。

Table3 増締め試験条件

試験温度	200℃
ガスケット	No.MF300 厚さ: 1.5mm
フランジ座寸法	JIS 10K 50A RF
フランジ仕様	材質: SS400 シール面粗さ(Rz): 14.4 μm (Ave.)
ボルト (ひずみゲージ付)	材質: SS400 寸法・本数: M16×4本
増締めタイミング	常温(締結後24時間) 100℃、150℃、200℃

Figure4に結果を示す。もっとも残留面圧が大きいのは所定温度到達後に増締めを実施した場合であった。その他の条件においては、増締めを実施した際の温度が高いほど残留面圧が大きい結果となった。より高温で実施するほど増締めの効果が高いことがわかる。ホットボルテイングとコールドボルテイングを比較した際と同様に、増締め温度が高いほど増締め前後のガスケットの剛性の変化が小さくなり、昇温による塑性変形が小さくなるためと考えられる。

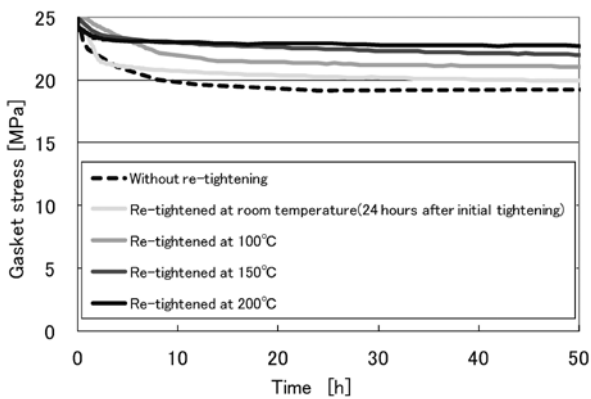


Figure4 昇温中に実施した増締めの効果の比較

3-2) 所定温度到達後の保持時間の違いによる影響

所定温度到達から増締め実施までの経過時間の違いが、増締めの効果に影響を及ぼさなければ増締めのタイミングを自由に決定可能となる。ここでは前項と同様の試験方法により、所定温度到達後に直ちに増締めを実施した場合、および24時間後、96時間後に実施した場合のガスケット面圧挙動を比較した。増締め実施タイミング以外の試験条件はTable3と同様である。結果をFigure5に示す。

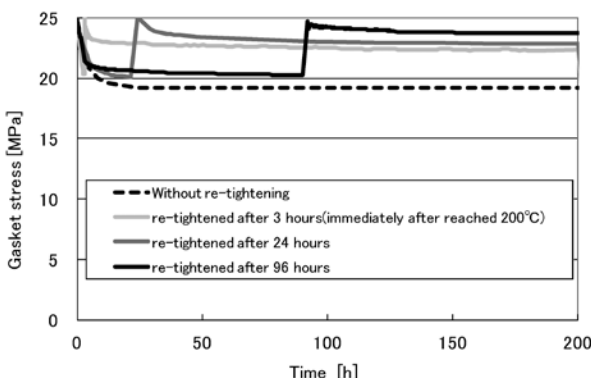


Figure5 所定温度到達後に実施した増締めの効果の比較

それぞれの増締め条件の効果を、増締め実施から100時間経過後時点での残留面圧の大小により比較した。もっとも

残留面圧が大きかったのは、所定温度到達後、96時間経過してから増締めを実施した場合であった。次点が24時間経過後に増締めを実施した場合であり、増締め実施までの時間が長いほど増締めの効果が高い結果となった。

いずれの条件も増締め前後の温度変化は無いためガスケットの剛性変化の影響は受けておらず、高温での保持時間のみが増締め効果に影響する要因である。この場合、面圧の低下はガスケットがクリープによって厚さを漸減し、ボルトが緩むことで生じると考えられる。このとき、高温で長時間保持されたガスケットは、昇温直後のガスケットと比較してクリープ緩和による変形をより多く生じ厚みが薄くなっている。ガスケットの材質と試験温度が同等であれば一定時間で生じるクリープ緩和により生じるひずみも同等であるが、元の厚さが薄ければ薄いほど同じひずみを生じた際のガスケット厚さの変化は小さくなり、ボルトの緩みも小さくなる。よって、高温でより長時間保持されてガスケットが薄くなっているほど、増締め後のガスケットのクリープ緩和によるボルト軸力の低下が小さくなり、残留面圧が高く保たれるものと推測する。

4. おわりに

長期にわたり、より確実に締結体のシールを維持する方法を示すことを目的に、フランジ締結体の模擬実験でガスケット面圧低下の定量的な評価を行うとともに、ホットボルテイングとコールドボルテイングの比較、昇温中の増締めにおける増締め実施温度や所定温度到達後の保持時間がガスケット面圧挙動に与える影響を比較評価し、以下の結論を得た。

- ・ガスケット面圧は昇温に伴い低下する。
- ・サイクル運転を行う場合、同じ温度での定常運転と比較して早く面圧が低下する。更に、冷却時に大きな面圧低下を生じる。
- ・ホットボルテイングによる増締めは、コールドボルテイングと比較して面圧を高く保持できる。
- ・昇温中の増締めは、できるだけ高温で実施することが望ましい。
- ・増締めは所定温度到達後、できるだけ遅いタイミングで実施する方が有効である。

増締めを実施する温度やタイミングがガスケット面圧挙動に及ぼす影響を、ガスケット締結体の模擬実験によって比較検討した結果を報告した。今後ともユーザーの抱える困難な課題の解決に貢献していく所存である。

5. 参考文献

- 1) 野々垣 肇、山邊 雅之、森本吏一、バルカー技術誌、No.20, pp.2-7 (2011) .
- 2) 高橋 聡美、野々垣 肇、森本吏一、バルカー技術誌、No.24, pp.2-4 (2013) .
- 3) JIS B 2251 (Figure3 増締め効果の比較 2008)フランジ継手締付方法

(Abstract)

Maintaining high gasket stress is very important for the long service life of gaskets. Stress relaxation and creep caused by the influence of time and temperature, reduces gasket stress. In this paper, for expanded PTFE gasket which is widely used as a non-asbestos gasket, stress relaxation, creep are quantitatively evaluated, indicating more effective re-tightening methods.

Keywords:

stress relaxation, creep, non-asbestos gasket, re-tightening

(摘要)

为使密封件能够长期使用，保持较高的表面压力是重要事项，但是垫片受时间和温度的影响会产生应力松弛和蠕变，使表面压力下降。本文以用途较广的无石棉垫片-膨体四氟垫片为例，通过试验定量评价表面压力下降和增加紧固的效果，介绍一种更有效的增加紧固的方法。

关键词:

应力松弛，蠕变，无石棉垫片，增加紧固



栗原 和也
ソリューション開発部