

Valqua Technology News

バルカー 技術誌

2015年 夏号

No.29 Summer 2015

【ソフトガスケット特集号】

- **ご挨拶** 1
常務執行役員 研究開発本部長
青木 陸郎
- **総論**
ガスケットをとりまく社会環境の変化 2
シール営業本部 テクニカルソリューショングループ
野々垣 肇
- **技術論文**
ガスケット締結体の面圧挙動と増締め効果 7
ソリューション開発部
栗原 和也
- **技術論文**
有限要素解析を用いた
ふっ素樹脂ガスケットの長期特性予測 11
研究開発本部 開発部 開発グループ
佐藤 広嗣
- **製品の紹介**
高機能シートガスケットの紹介と使い分け 15
研究開発本部 開発部 開発グループ
黒河 真也
- **寄稿**
ジョイントシートガスケット付き
管フランジ締結体の密封特性について 19
広島大学 名誉教授
澤 俊行



日本バルカー工業株式会社

<http://www.valqua.co.jp>

ご挨拶



読者の皆さまには日頃から本誌をご愛読いただき、深く御礼申し上げます。

当社では、この4月から新たな中期経営計画“NV・S7”をスタートさせました。

創業90周年に向けて『THE VALQUA WAY』のもと、「選択と集中」による更なる成長力の強化を図り、経営理念である「顧客感動の提供」の実現を目指し、社会への安全・安心な製品・サービスの提供を行ってまいります。その活動の柱の一つとして、H&Sの視点^{*}に立脚しながら新たな技術経営の仕組みを取り入れて、お客さまにとって独創的な技術開発成果を迅速に提供させていただくために、技術開発活動の一層の充実強化を行ってまいります。

このような、当社の技術開発に対する道筋を改めて見据えていくために、今回のバルカー技術誌夏号におきましては、当社として最も基本となる技術テーマの一つに立ち戻り「ソフトガスケット」を中心テーマとして取り上げることになりました。

当社は創業以来、世界の市場でシール製品の提供を行う中で、広範なシールエンジニアリングの知識を蓄えてまいりました。現在は、そこで培われた技術ベースを活用し、高品質で多様な機能を備えたシール製品と共に、シールの使用に対するソリューションパッケージを提供させていただいておりますが、お客さまの安全で安心なオペレーションに貢献するシールメーカーとして、皆さまに更なる信頼をいただくことを目指し、今後もたゆまぬ技術開発活動を展開してまいります。今号は、そのようなシール技術の中でも、重要な技術領域として位置づけられる「ソフトガスケット」について、

- 近年の社会を取り巻く環境変化にともなうガスケットの変遷
- 当社の独自高機能製品のふっ素樹脂系ガスケットを中心とした開発の歴史
- それぞれの製品が持つ特徴
- 製品の寿命評価・使い方

といった点を総論的にまとめた内容になっておりますので、座右に置かれてご利用いただけると幸いです。また、当社シニアフェロー西田隆仁による「現代ガスケット概論」(日本バルカー工業㈱ 5月10日発刊)が出版されました。是非、ご一読をいただき、本誌と併せてご活用いただきたくお願いいたします。

今後とも、『THE VALQUA WAY』のもとに当社から発信される技術成果にご期待いただきながら、当社製品を将来にわたりご愛顧いただけるようお願い申し上げます。

常務執行役員 研究開発本部長 青木 陸郎

^{*}『H&Sの視点』とは、H(ハード=製品)とS(シールエンジニアリング・サービス)を通じて顧客価値の最大化を図ることを指します。

ガスケットをとりまく社会環境の変化

1. はじめに

シールとは、各種プラントの配管や機器、装置において、流体が内部から外部へ、あるいは外部から内部へ流れないようにすること、またはその部材を指す。固定部のシールをガスケット、運動部のシールをパッキンと呼ぶ。ガスケットやパッキンは機械要素の一つであり、一般の認知度は低い、機械装置の重要な部品である。

漏れを防ぐということは、重要な技術であり、古代遺跡からも給配水管の遺構が発見されている。そこでは、アスファルト、タールなどが、コーキング材のように使われていたことが想像される。細い管同士のねじ込み継手を経て、産業革命による紡績産業、製鉄業の発展に伴い、溶接技術とねじ切り旋盤の出現によって、ボルト締めフランジ継手が実用化されるようになり、今日見られるガスケットの原型が整備されるに至った。

石綿ジョイントシートが1887年オーストリアのRichard Klingerによって発明され、うず巻形ガスケットは1912年アメリカのHenry Bohmerによって発明された。さらには、20世紀初頭にドイツでHaber-Bosch法による高温高压下でのアンモニア合成が実用化され、重化学工業の発展によって各種の高压用金属ガスケットが開発された。

日本では、明治以降、石綿ジョイントシートの高級品を輸入に頼っていたが、国産化が進み、1935年当社において、日本人だけによる純国産品が誕生した。またこれは、120インチという大型シートであり、世界的に見ても画期的な製品であった。

こうした黎明期を経て、戦後は石油化学工業をはじめとする各種産業が発展していったのに伴い、ガスケットもその適用範囲を広げるとともに、多種多様な新材料が使われるようになっていった。しかし、こうした急激な産業の発展は、多くの環境問題も発生させることになった。

2. 石綿規制

石綿の健康障害に関する報告が20世紀初頭になされ、その危険性が広く認識されるようになった。石綿の販売、使用の制限が、欧米を中心として進められ、日本でも2004年に、石綿製品について輸入、製造、譲渡、提供、使用が禁止された。しかし、石綿の使用用途のほとんどが建材であり、また実績で石綿に代わるシール材がなかったことから、シール製品、石綿繊維品は対象外であった。2006年には全石綿製品の使用等が禁止されたが、特定分野の部材については、代替品が確立していないとの理由で、規制猶予対照表(ポジティブリスト)が設定され使用が続けられた。ポジティブリストが完全撤廃されたのは、2012年3月のことであった。

このように、シール製品における全面的な非石綿化には長い年月を要したが、これはガスケットの非石綿化に大きな技術的課題が存在していたためであった。

石綿ガスケットの代表的なものとしては、石綿ジョイントシート、及び石綿ファイラーうず巻形ガスケットが挙げられる。しかし、うず巻形ガスケットはシール性や耐薬品性、耐熱性に優れた膨張黒鉛ファイラーやふっ素樹脂ファイラーを用いた高級化がすでになされていた。そのため、非石綿化の際に、無機ファイラーを用いたうず巻形ガスケットも開発されたが、多くはすでに市場で実績のあった膨張黒鉛ファイラーうず巻形ガスケットに代替された。

一方、低温・低压及びユーティリティ用途として最も汎用性の高い石綿ジョイントシートは、JISなどに示された常態物性試験で石綿ジョイントシートと同等と評価された非石綿ジョイントシートが、フィールドにおいて多くの問題を引き起こした。当社は、石綿ジョイントシートが長年に渡る使用実績があったが、そのため、その物性試験は実績のある製品の、生産工程管理のための品質検査であり、実際に使用するにあたって本当に必要とされる機能を評価するものではなかったということを明らかにした。

石綿ジョイントシートの場合、石綿繊維の配合量は65～85%であったのに比べ、非石綿ジョイントシートの場合、アラミド繊維などの有機繊維、及びロックウール、炭素繊維などの無機繊維は5～25%しか配合されていない。ジョイントシートの材料構成をFigure1に示す。また、石綿繊維は細く長く、繊維同士が強く絡み合い、繊維自身が強度因子となっているため、ゴムが硬化してもガスケットとしての機能が維持できていた。一方、非石綿ジョイントシートは繊維量が少なく、また繊維も太く短く、剛直であるので、アラミド繊維のフィブリル

化(毛羽立ち)による繊維同士の絡み合いを利用して非石綿ジョイントシートは開発されたが、石綿繊維の絡み合いに比べて弱く、ゴムバインダーが強度因子のかんりの部分を担う形になっている。そのため、ゴムバインダーが高温にさらされ硬化した場合、配管応力や増締めなどの外部応力が負荷されると、ガスケットに割れが生じる事故が多発した。

こうした非石綿ジョイントシートの割れの問題は、ゴムバインダーによることがほぼ確実であると見られたが、市場にある非石綿繊維では、石綿繊維の様な補強効果は期待できないことが明らかになった。そのため、当社はいち早くゴムを使わないシートガスケットの開発に着手した。

バルカロン®のような充填材入りふっ素樹脂シートは、非石綿化以前から耐薬品性の求められる化学プラントに多く使用されており、非石綿化の初期にはジョイントシートに代えて使用されることもあった。しかし、ふっ素樹脂特有のフローにより、高温時の締付力低下が大きく、耐熱性については、石綿ジョイントシートを完全に代替することはできなかった。

ふっ素樹脂のフローを改善するには、その流動性を抑制するために多量な充填材が必要となるため、相対的にふっ素樹脂の含有量が少なくなり、その少ないふっ素樹脂含有量で充填材の間の空隙を埋めて、適正なシール性が維持できるよう、配合と加工方法を検討する必要があった。その開発は困難を極めたが、ついには石綿ジョイントシートと同等以上のクリープ緩和特性とシール性を有する高機能シートガスケット“No.GF300”を開発した。こうした、低クリープ緩和仕様のシートガスケットは他社にはないものであり、このNo.GF300、及びそれに続くNo.SF300、No.MF300、No.UF300といった高機能シートガスケットによって、石綿ジョイントシートの代替は完成した。

Figure2にガスケットの変遷についてまとめた。

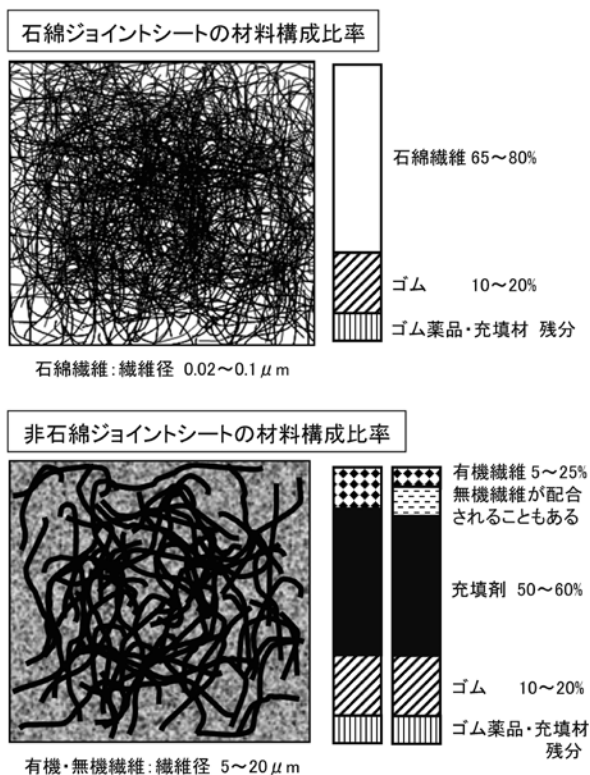


Figure1 ジョイントシートの材料構成イメージ

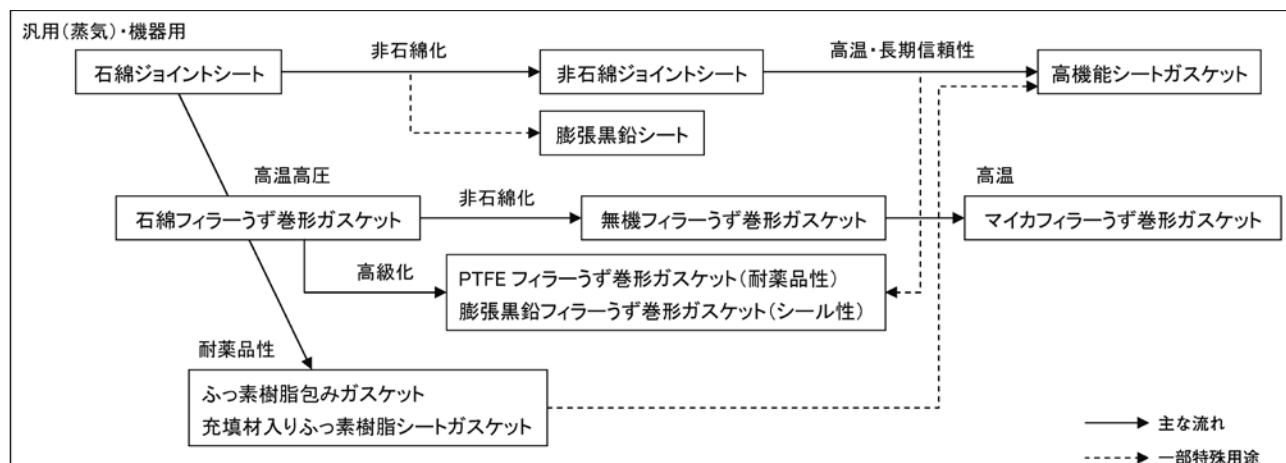


Figure2 ガスケットの変遷

3. 信頼性評価技術

また、同時に当社は、実績に代わる新たな信頼性評価技術の開発にも着手した。非石綿製品の実績は乏しく、長期使用に対する信頼性を得るには、ユーザー個々の使用条件における実証試験を行うとともに、長期性能を理論的に評価推定する技術が必要であると考えたからである。

ガスケットの長期信頼性評価のための寿命推定方法は、使用済み核燃料輸送貯蔵容器(キャスク)用ガスケットの開発を契機として検討が始められた^{1)・3)}。その方法は使用環境におけるガスケット応力の経時変化を応力緩和線より予測し、ガスケット残留応力が密封限界点に達する時点をも寿命とするものである。ただ、こうした試みは、締切型フランジにおけるメタルガスケットについての事例であり、非石綿ガスケットに適用するについては、より一般的な締込型フランジにおけるガスケット残留応力について考慮する必要がある。

締込型フランジにおける寿命評価についても、ガスケット残留応力が密封限界応力に達する時点をも寿命とするという、基本的な考え方は同じである。ただし、ガスケット残留応力については、ガスケットだけではなく、フランジ継手の応力変化をも考慮する必要がある。最近では、こうした締込型フランジにおけるガスケット応力の経時変化については、ガスケットを粘弾性体とした有限要素解析(Finite Element Analysis:FEA)による研究^{4)・7)}が進められている。特に、常温で締付け、温度サイクル下で使用するという、非定常かつ長期運転条件を考慮に入れ、ガスケット圧縮特性の温度依存性、非線形性、ヒステリシス特性、熱膨張などを考慮して有限要素解析を行うことによって、より現実的なガスケット応力の経時変化の推定が可能となった。

ガスケットの材料劣化による寿命評価への取り組みとしては、非石綿化のための緊急プロジェクトである2006年NEDO開発支援事業において、膨張黒鉛の酸化減量にArrhenius式を適用することを検討した。ライン入りマイカファイラーうず巻形ガスケット(No.M596L)について、膨張黒鉛ファイラー酸化の活性化エネルギーから寿命予測が可能であることを確認した⁸⁾。さらに、膨張黒鉛ファイラーうず巻形ガスケット(No.6596)については、熱減量後の圧縮復元線から、ガスケット残留応力を求める手法⁹⁾も提案した。

高圧力技術協会(HPI)のSTOP委員会では、従来のASME codeに代わるフランジ継手設計の検討がなされ、非石綿ガスケットを評価するために高圧力技術協会規格HPIS Z108“ボルト締めフランジ締結体用ガスケットの分類及び特性評価指針(2014)”が新たに制定された。この規格では、ガ

スケットの新たな分類体系、及び非石綿ガスケットの試験温度などの評価基準が明確にされた。この成果はJIS B 0116“パッキン及びガスケット用語(2015)”の改正にも引き継がれ、ガスケットの分類体系、及び非石綿ガスケットの関連用語が新たに登録された。これにより非石綿ガスケットの中でのNo.GF300の位置が明確になった。

4. 大気濃度規制

大気汚染物質の大気中への排出を規制すべく、米国は1963年に大気浄化法(Clean Air Act:CAA)を制定した。その後、数度の改正を経て、1990年改正大気浄化法(Clean Air Act Amendment of 1990:CAAA)が公布された。このCAAAでは、酸性雨対策、自動車排ガス規制の強化、毒性化学物質の排出規制の強化、オゾン層破壊の抑制を目的とし、189種類の有害大気汚染物質(VHAP)が指定された。これらは工業プラントからの揮発性有機化合物(VOC)の微少漏れ(Low Emission)を規制するものである。漏れの規制値としては、大気濃度500ppmが規定され、大気汚染の深刻なカリフォルニア州では、1997年州規制により100ppmに規制強化されている。

微少漏れの規制は、ドイツにおいても1986年に大気浄化法(Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft:TA-Luft)として制定され、イギリスでも1990年にEnvironmental Protection Act of 1990が施行されるなど、環境規制が拡大している。

プラントでの漏れの管理は、基本的には閾境界での環境濃度と、各プラントでの物質収支を基にした排出総量で管理してきたが、環境規制ではガスケットからの微小漏れを直接管理するために、フランジ継手周辺の環境濃度を測定することを要求した。このことはガスケットを選定する上での重要な評価基準となりつつある。すなわち、継手からの漏れは、従来の漏れるか漏れないかの定性的な検査ではなく、定量的な漏れ量としてとらえる必要が高まってきた。

一般に、“漏れが無い”という状況は存在せず、微少な漏れは必ず存在する。すなわち、“漏れが無い”というのは、漏れ試験の検出感度を越える漏れが無いということであり、それを設計上“漏れが無い”状態として許容しているにすぎない。

各種ガスケットの漏れ量をFigure 3に示す。

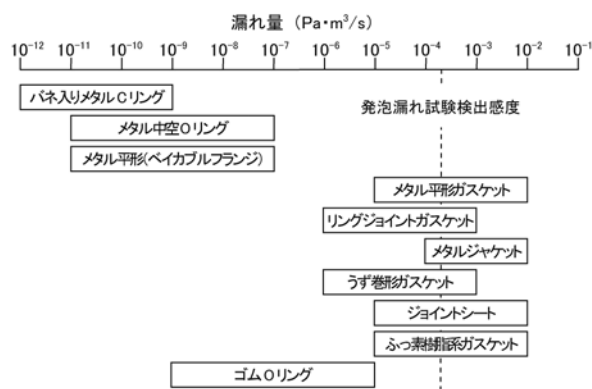


Figure3 ガスケットの漏れ量

石油化学プラントやその周辺機器では、通常は発泡漏れ試験によって漏れの有無が検査されるが、発泡漏れ試験の検出感度は、 $3 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 程度であるとされている。

日本におけるこうした目視での検査は、世界的に見ても厳しい基準のもとに行われているが、漏れを数値化して環境への影響度を評価しようという動きに対しては、数値化された漏れ量でない限り評価の対象にはならない。

なお、CAAAで規定された管理値である500ppm及び100ppmが、どの程度の漏れ量に相当するのか、その換算を示した公的なものはないが、当社では、同一条件で行った環境濃度測定結果とガスケット漏れ試験結果を比較し、500ppmに相当する漏れ量は $2 \sim 4 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ であり、より厳しい100ppmでも、 $3 \sim 6 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 程度で、発泡漏れ試験によって検知できる漏れとほぼ同程度であることを示した^{10, 11)}。

また、漏れ量を考慮したフランジ継手のシール設計が検討されている。これらはいずれも気体の漏れを基準としたものである。これは、液体の微小漏れは定量測定が困難であるということと、液体漏れ量は気体漏れ量に対して極めて少ないと考えられていたためである。それに対して、当社で液体の微小漏れ量を測定し、同様の条件で測定した気体漏れ量を比較したところ、両者の体積漏れ量には 1×10^8 倍の差がみられたが、質量漏れ量はほぼ同じオーダーであることを見出した¹²⁾。これは、質量漏れ量を基準とすることで、気液ともに合理的なシール設計ができる可能性を示している。

5. おわりに

石綿規制に対して、当社は独自技術による取り組みを進め、石綿ジョイントシートを代替しうる、No.GF300をはじめとする高機能シートガスケットを開発した。更に、信頼性評価

技術と併せ、非石綿化に貢献できたものと自負する。

また、フロンや環境ホルモン(外因性内分泌攪乱物質)、及び一部のふっ素樹脂の製造に使用される助剤であるPFOA(パーフルオロオクタン酸及びその塩類を含む化合物の総称)などの環境負荷物質への対応として、シール材料の配合変更など、その安全性について不断の検証を続けている。

大気濃度規制に伴う漏れ量の管理や、漏れ量を前提とする合理的なフランジ継手設計など、今後起こるであろう様々な環境変化に対しても真摯に取り組み、シールにかかわる全ての人々に貢献するべく努力する所存である。

6. 参考文献

- 1) Nishida T., Sealability of Spring-Energized Elastic Metal Gaskets, SAE Technical Paper Series 870004, Proc. '87 SAE International Congress and Exposition Detroit, Michigan, Feb (1987), pp23-27
- 2) 堀井賢二、トライパックの長期性能評価、バルカーレビュー、vol.35, No.3, pp.7-13 (1991) .
- 3) 野々垣、肇 大断面径トライパックの長期性能評価、バルカー技術誌、No.6, pp.1-5 (2003) .
- 4) 高木知弘、名護典寛、佐藤広嗣、山中幸、ガスケットの粘弾塑性挙動を考慮したボルト締結体の力学的特性の評価、日本機械学会論文集C編、vol.73, No.728, pp.1245-1252 (2007) .
- 5) 名護典宏、高木知弘、佐藤広嗣、ガスケットの粘弾塑性特性とボルト締結体の軸力緩和予測、バルカー技術誌、Vol.16, pp.11-19 (2009) .
- 6) 渡辺将広、山口篤志、本田尚、辻裕一、フランジ継手用ガスケットの高温粘弾性特性の評価、日本機械学会山梨講演会講演論文集、pp.145-146 (2008) .
- 7) 佐藤広嗣、黒河真也、高木知弘、ガスケットを用いた締結体の長期漏洩特性の予測手法の検討、日本機械学会山梨講演会講演論文集、pp.139-140 (2008) .
- 8) NEDO平成18年度成果報告書、緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発プロジェクト、シール材の非石綿代替製品に関する寿命推定実証技術の研究開発、2007年3月
- 9) Asahina, M., Nishida, T. and Yamanaka, Y., Gasket Performance of SWG in ROTT and Short Term Estimation at Elevated Temperature, ASME PVP, Vol.326, (1996), pp47-59
- 10) 宮本悟、地球環境に対応のバルブ(ペローズバルブ)、バ

ルカーレビュー、Vol.43、No.2、pp.7-12 (1998)。

11) 山中幸、赤松淑子、黒河真也、ガスケットの環境規制に関する技術動向、トライボロジスト、Vol.56、No.2、pp.87-92 (2011)。

12) 赤松淑子、佐藤広嗣、野々垣肇、西田隆仁、液体漏洩量の実測と気体漏洩量との比較、日本機械学会論文集 A 編、Vol.77、No.777、pp.749-753 (2011)。

(Abstract)

VALQUA reviewed the impact of gasket on the social environment. In particular, with respect to Asbestos regulations, we have taken steps ahead of the competitors, developed high-performance sheet including No.GF300 and we also started long-term reliability assessment considering long service life of asbestos products. Moreover, the necessity of leakage amount management for atmospheric concentration regulation and the measurement of liquid micro-leakage were also mentioned.

Keywords:

Asbestos regulations, long-term reliability assessment, atmospheric concentrations regulation, liquid micro-leakage

(摘要)

简单介绍了对社会环境变化公司在密封垫片方面开展的工作。特别是在石棉規制方面，先于其它公司开发了以No.GF300为代表的高机能板材，并且在取代石棉产品的实绩，建立长期可靠性评价方面也开展了一些工作。另介绍了大气浓度規制背景下泄漏量管理的重要性以及液体微小泄漏的测定。

关键词:

石棉規制、长期可靠性评价、大气浓度規制、液体微小泄漏



野々垣 肇

シール営業本部
テクニカルソリューショングループ

ガスケット締結体の面圧挙動と増締め効果

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。

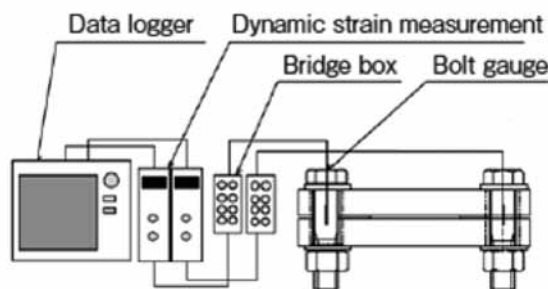


Figure1 フランジ締結体の面圧測定装置

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

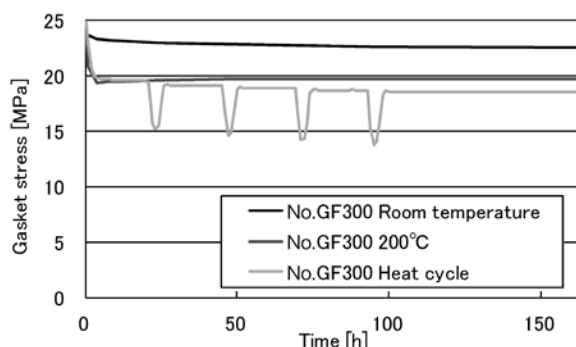


Figure2 時間経過に伴う面圧の低下

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にそれぞれ実施し、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)

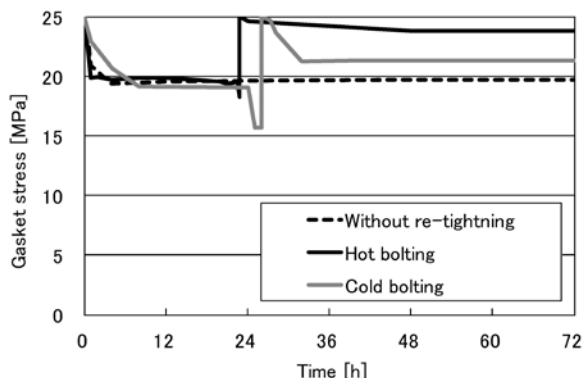


Figure3 ホットボルディングとコールドボルディングの比較

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。

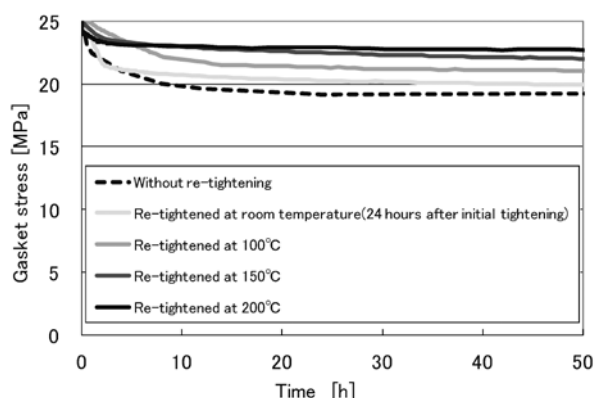


Figure4 昇温中に実施した増締めの効果の比較

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。

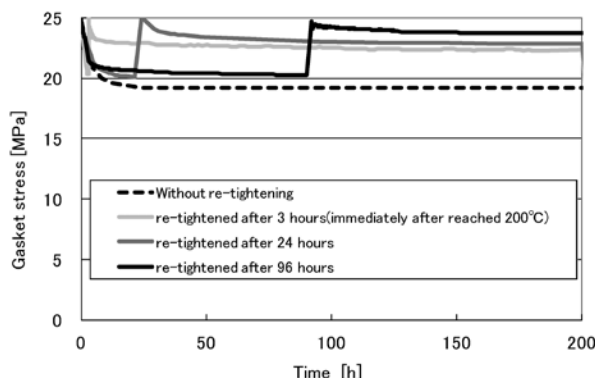


Figure5 所定温度到達後に実施した増締めの効果の比較

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

有限要素解析を用いた ふっ素樹脂ガasketの長期特性予測

1. はじめに

近年の実験的研究により、ガasketを含む管フランジ締結体のシール性や緩和のメカニズムが明らかになりつつある。しかしながら、管フランジ締結体は圧力レート、呼び径、内圧力、温度、フランジ形状、締結体材料など非常に多岐にわたる使用条件があり、それら全てに対して実験アプローチを行うためには莫大な費用と時間が必要になる。そのため、計算アプローチによる管フランジ締結体評価手法が望まれている。特に、プラントの安全操業、環境への影響がますます重要と考えられる近年では、締結体の長期特性を予測する手法を構築することが必要となっている。

本報では、有限要素解析を用いたガasketを含む管フランジ締結体の長期特性予測手法を紹介する。熱サイクルや増締めなど、非定常な条件を対象に、実験によって取得したガasketの基礎特性を用いて有限要素解析によって長期的な評価を行う。

2. 長期特性予測概要

Figure1に長期特性予測手法の概要を示す。ガasketのシール性はガasket面圧に依存し、一定のガasket面圧以下になると漏れが生じるという考えに基づき、有限要素解析を用いてガasket面圧挙動を予測する。ガasket面圧は内圧力、温度、時間によって低下するが、有限要素解析ではそれらの影響も考慮する。

ここではガasketをNo.GF300 厚さ3.0mm、流体温度200℃とした場合を例として検討する。No.GF300は耐薬品性、耐熱性が非常に優れており、石綿ガasketの代替品としてすでに広く使用されている。構成材料の耐熱性が高いことから上限温度300℃以下では材料劣化がなく、短期的な評価から精度の高い長期的な予測が可能であると考えられる。

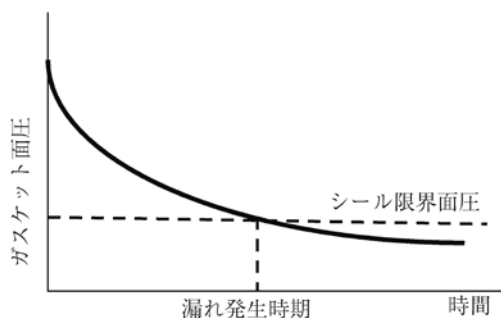


Figure1 長期特性予測概要

3. 有限要素解析

3-1) 解析方法

汎用有限要素解析コードABAQUSを用い、締結体におけるガasket面圧挙動を予測する。ここではJIS 10K 600A RF管フランジ締結体に200℃、内圧1MPaの流体を作動させた場合の例で示す。Figure2に有限要素モデルを示す。締結体を軸対称体と仮定し、軸方向の対称性も考慮している。ボルトは周方向に連続的に存在するモデルとなり、実機と異なるため、ボルトモデルのヤング率と密度は実機とモデルの断面積の割合から換算した値を用いている。フランジ、ボルトは軸対称4節点伝熱弾塑性要素を用い、線形弾性体としてモデル化した。ガasketは軸対称4節点伝熱弾塑性要素を用い、応力-ひずみ関係の非線形特性と負荷-除荷曲線のヒステリシス特性、温度依存性、粘性を入力している。用いた材料特性をTable1に示す。ガasketの圧縮特性はFigure3を用いる。高温時には剛性が低下する温度依存性を考慮している。Figure4に示す線膨張係数も温度依存性を考慮し、Figure5に示すクリープは応力依存性を考慮している。

Figure6の境界条件に示すように、締付け時には呼びガasket面圧に相当するボルト応力をボルトモデル下端部に与え、締付け完了時には軸方向に拘束する。ここでは軸対称モデルを用いているため、複数のボルトを同時に締付ける条件となる。運転時の内部流体の影響は管内部に内圧と温度

を与えることで再現している。本来、管断面に負荷されるスラスト力は管モデル断面に相当する力を負荷して再現している。締付け時には定常問題として扱い、締付け後の運転時には非定常問題とし、運転開始による加熱、時間の影響を考慮した評価を行った。

締結体条件として、フランジ及びボルト材料はSS400、ガスケットはNo.GF300とする。初期ガスケット面圧を35MPaとし、温度200℃、内圧1MPaの流体を作動させる場合を予測する。

運転条件として以下の4種類の場合の挙動を予測した。

● 基本条件

基本条件では締付け後、運転開始による内部流体の加熱と内圧が作用され、温度が一定となった後は外力がない条件

● 増締め条件

運転開始1日後に初期ガスケット面圧に相当する締付けを行う条件

● 運転サイクル条件

1年毎に内部流体による内圧と温度の作用を停止し、1日後に再運転する条件

● 運転サイクル+増締め条件

運転開始1日後に初期ガスケット面圧に相当する締付けを行い、その後1年毎に内部流体による内圧と温度の作用を停止し、1日後に再運転する条件

3-2) 解析の妥当性確認

解析手法の妥当性を確認するため、“ガスケット締結体の

Table1 材料特性

特性	フランジ	ボルト	ガスケット
ヤング率[GPa]	200	37	Fig.3
ポアソン比	0.3	0.3	0.46
線膨張係数[1/℃]	11.8×10^{-6}	11.8×10^{-6}	Fig.4
熱伝導率[W/m・K]	5160	5160	25
比熱[J/kg・K]	500	500	1000
密度[kg/m ³]	7800	1923	2500
クリープ			Fig.5

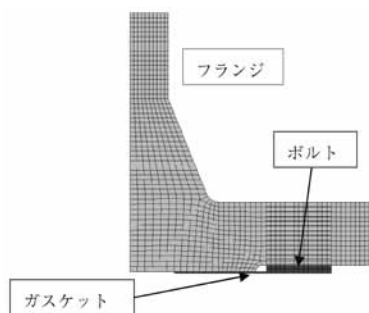


Figure2 有限要素モデル

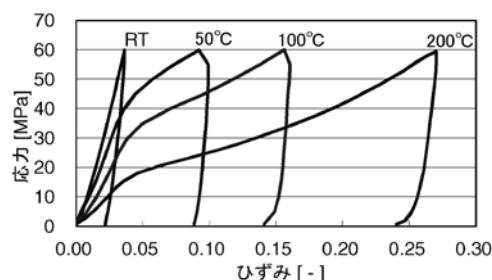


Figure3 ガスケットの応力-ひずみ関係

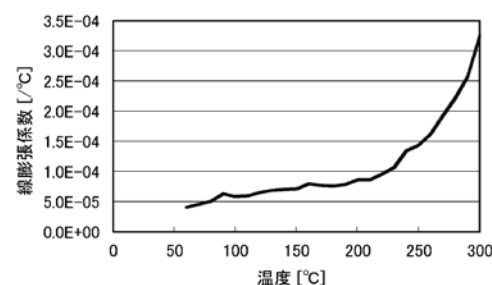


Figure4 ガスケットの線膨張係数

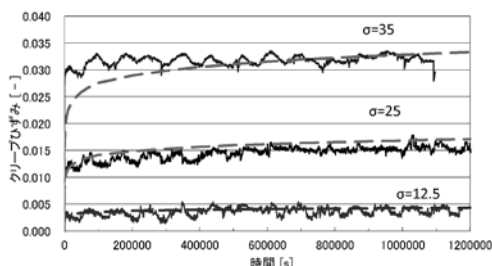


Figure5 ガスケットのクリープ特性

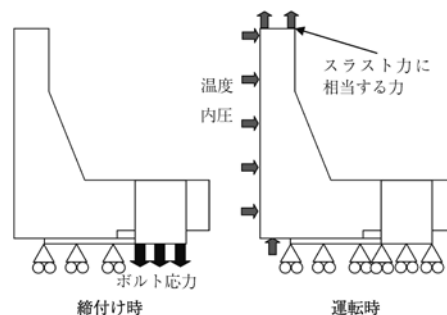


Figure6 境界条件

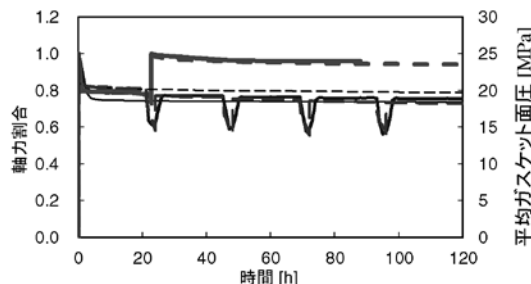


Figure7 解析手法の妥当性確認

面圧挙動と増締めの効果”(本誌7～10ページ記載)の実験値と比較した結果をFigure7に示す。ボルト締付け完了後に

加熱、熱サイクル、ホットボルトリング条件としている。全ての条件において、実験結果と解析結果は比較的良好に一致しており、本解析手法の妥当性が確認できている。

4. 長期特性予測

Figure8に有限要素解析から得られたガスケット面圧挙動を示す。また、同図にはシール限界面圧も併記している。この値を下回った場合に漏れが発生する。なお、各条件データは見やすくするためにデータを0.03年ずつ横軸方向にずらして記載している。

基本条件、増締め条件ではガスケット面圧は十分な大きさを維持するが、運転サイクル条件では運転停止時にガスケット面圧が大きく低下することがわかる。加えて、サイクルを重ねるごとに面圧も低下している。これは、ガスケット交換を行わない場合でも定修を繰り返すことで漏れの高くなることを示す。それに対し、運転サイクル条件でも増締めを行った場合は運転停止時にも大きなガスケット応力を維持している。運転サイクル条件における漏れの高リスクに対し、増締めが有効であることがわかる。

基本条件の場合、初期に35MPaから約23MPaまで面圧は大きく低下し、その後は緩やかに低下していることがわかる。解析結果から考察した結果、初期の大きな面圧低下は運転開始直後の温度変化(昇温)時に生じたものとわかった。初期(ガスケット面圧が高い条件)にガスケットクリープが顕著であることに加え、温度変化時には各部材の熱膨張、ガスケットの剛性低下の影響がある。特にふっ素樹脂ガスケットでは剛性低下によって、ガスケット厚さは小さくなり面圧は大きく低下する。ガスケットひずみが大きくなることでボルト締結力が低下する現象をFigure9の締結線図に示す。ガスケットひずみ δ_g が増加することで、延伸されていたボルトが収縮(δ_b の減少)し、締結力が低下する。ガスケットクリープによる締結力低下も同様の現象である。温度安定後はガスケットクリープによる影響だけとなり、面圧低下は緩やかになる。

増締め条件の場合、増締め後の面圧低下勾配は基本条件に比べて若干大きいものの、基本条件よりも大きな面圧を保持し続ける。増締め後は温度変化がなく、ガスケットクリープだけの影響を受けるため、初期締付時のような大きな面圧低下がない。基本条件に比べて低下勾配が大きいのはガスケットクリープに応力依存性があり、応力が大きいほうがクリープは顕著であるためである。

運転サイクル条件の場合、運転停止-再運転時に面圧が大きく低下していることがわかる。運転停止時に温度が低下

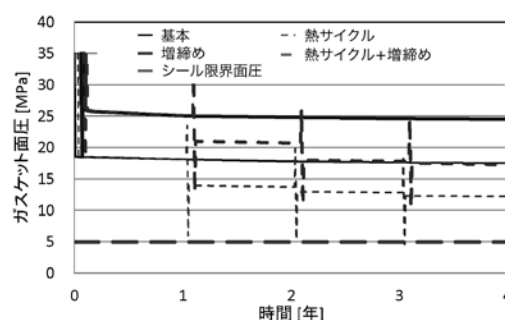


Figure8 長期特性予測

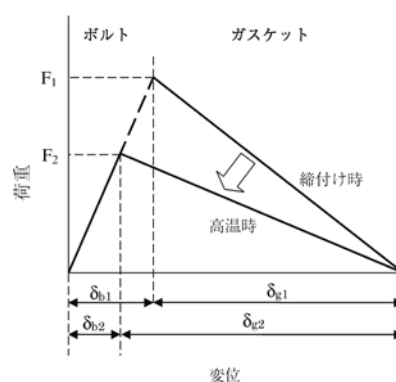


Figure9 ボルトとガスケットの荷重とひずみ

することで各部材が熱収縮を起こす。ガスケットは高温時の剛性低下によって大きく圧縮塑性変形している上に更に熱収縮する。その際に、延伸されていたボルトは収縮するため締結力が低下し、ガスケット面圧も大きく低下する。再運転時、再び加熱されることで各部材は膨張し、運転停止前よりも小さい値で面圧挙動は安定する。またFigure8より、サイクル毎に面圧も低下していることもわかる。

運転サイクル+増締め条件の場合、運転停止時でも面圧は約10MPaとなっており、増締めによってガスケット面圧保持が改善できている。

以上の結果より、運転開始直後や運転サイクル時の温度変化時に締結体におけるガスケット面圧の変動が大きいことがわかった。また、増締めによってガスケット面圧を増加させ、漏れの高リスクを改善できることがわかった。

5. 長期特性予測を使って

上記の長期特性予測手法を用い、Figure10に示すアプローチによって適切な施工条件の検討ができる。使用条件を入力し、次回定修までの漏れ有無の予測が可能となる。仮に、漏れが生じると予測された場合でも、増締めや初期締付力の改善案も検討できることがこの予測手法の長所であ

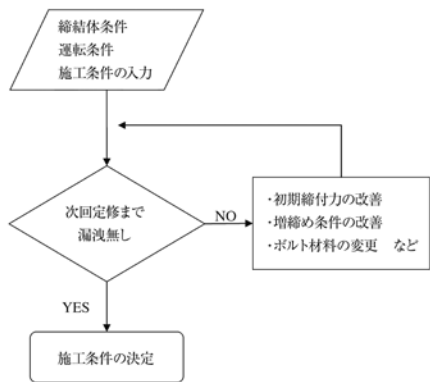


Figure10 施工条件の検討アプローチ

る。

また、ガスケットの使用条件はTable2に示すように多数あり、ユーザー、使用箇所によって非常に多岐にわたる。このような条件に対して、実験による対応では膨大な費用と時間が必要となる。しかしながら、有限要素解析では基礎データさえあれば、コンピューターへの入力条件を変更することで比較的簡便に対応ができる。加えて、高温や極低温、高圧、大口径、長期間など、実験では再現困難な条件でも有限要素解析では対応可能であり、非常に有用であると言える。

Table2 使用条件	
締結体条件	フランジ寸法・形状・材料
	ボルト寸法・形状・材料・数
	ガスケット寸法・材料
運転条件	流体温度
	流体圧力
	使用期間
施工条件	初期締付力
	増締め条件

6. おわりに

実績に代わる信頼性評価方法として、当社独自の取り組みであるFEM解析技術を用いた管フランジ締結体の長期特性評価手法を紹介した。ここではNo.GF300ガスケットを使用した場合を例として紹介したが、他のふっ素樹脂ガスケットにも適用が可能である。この手法によって、次回定修までの漏れ有無の評価、その場合の改善の検討が可能になる。これまで不明瞭であった数年後の予測を行うことで、プラントの安全安心操業のための有効なデータとなる。弊社では高機能なシール製品を提供すると共に、このような技術アプローチも行うことで、総合的にシールを提供していきたいと考える。

(Abstract)

This paper introduced a long-term characteristic evaluation method of pipe flange joints using FEM simulation technology as reliable evaluation method to replace the experience based evaluation. To evaluate the possibility of leakage from gasket part before maintenance or to propose solution or improvement to prevent potential leakage are possible by this technology. Comparing with previous unclear method using track record, new method provides effective data for safety and security operations of the plant.

Keywords:
pipe flange joints, FEM, gasket

(摘要)

介绍一种替代实绩的可靠性评价方法-FEM（有限元）解析技术用于管法兰连接体的长期可靠性评价。应用此法可以检测定期修理前垫片部位的有无泄漏，以及可以进行泄漏后的改善对策探讨。使几年后的预测工作明瞭化，并可取得化工装置安全安心作业的有效数据。

关键词：
FEM（有限元），法兰连接体，垫片



佐藤 広嗣
研究開発本部
開発部 開発グループ

高機能シートガasketの紹介と使い分け

1. はじめに

ガスケットは、化学、石油精製、製紙、繊維などのプラントやプラント関連機器、造船、住宅設備、自動車等各種産業に使用されている密封部材である。ガスケットの機能としては流体の漏れを防止することであるが、漏れによる経済損失を防ぐとともに、プラントを安全に操業する上で欠かせない重要部材である。

ガスケットを構成する材料は、ゴム、樹脂、繊維、充填材、金属と多岐にわたり、使用される流体や温度、圧力ばかりでなく、フランジの強度、交換頻度などの多様性に合わせて、各種ガスケットが開発、販売され、使用されてきた。とりわけ、石綿繊維を対象とした2004年の労働安全衛生法施行令の改正と2005年の健康被害に関する報道を受けて、石綿を使用したガスケットを他の製品に代替する“非石綿化”の動きが活発化し、結果として、多くのガスケットが使用されるようになった^{1,2,3)}。特に、石綿ジョイントシートはその汎用性の高さから使われている流体や環境も様々であり、これを代替するために何種類ものガスケットを使い分ける必要があった。結果として、ガスケットの選定や施工の管理面で煩雑さを強いることとなった。

また、石綿に関する規制が強化される以前から、ふっ素樹脂が、その耐薬品性の高さから、化学薬品など腐食性の高い流体の製造プロセス配管に多く使用されていた。ここでも腐食性の種別や温度などの条件に合わせて、ふっ素樹脂のみで構成されたふっ素樹脂シート、無機充填材を混合した充填材入りふっ素樹脂圧延シート、ジョイントシートと複合化したふっ素樹脂ジャケットガスケットなどを使い分ける必要があった。

近年、製造業を取り巻く経済環境は依然、厳しい状況にあるが、プラントを操業する上では保全技術の維持、継続が喫緊の課題となりつつある。高度経済成長期を経た保全技術者の離職が進み、後継者育成の必要性に迫られるなか、業界団体では対策に乗り出している^{4,5)}。このような環境下

で、事故リスク軽減や管理コスト低減の観点から、ガスケットの装着間違いや選定不良を回避するため、使い分けられているガスケットの種類を“統合化”する動きが顕在化している。本報では、主として300℃以下の領域に幅広く使用されており、“ガスケットの統合化”に効果的な高機能シートガスケットを紹介するとともに、効果的な使い分けについても一例を示す。

2. 高機能シートガスケットの紹介

2-1) ブラックハイパー[®]No.GF300

石綿ジョイントシートの代替を目的とし、2003年12月に販売を開始したシートガスケットである^{6,7)}。バインダーとしてPTFEを配合しており、微細に分散させ効率的に機能させることにより、シール性と高温応力緩和特性を高い次元で両立した製品である。最高使用温度を300℃とし、その高温特性から、蒸気などユーティリティ配管や機器用途を中心に使用されている。販売開始後十余年が経過し、多くの実績がその信頼性を物語っている。

2-2) ユニバーサルハイパー[®]No.UF300

No.GF300の高温特性を生かしながら、耐薬品性を飛躍

Table1 No.UF300浸漬試験結果

分類	流体		浸漬条件 (168時間)	重量減少率 (%)
アルカリ	水酸化ナトリウム	50%	100℃	0
			200℃	1
	炭酸ナトリウム	20%	100℃	0
酸	硫酸	98%	100℃	0
			200℃	0
	塩酸	35%	100℃	0
	硝酸	65%	100℃	0
	りん酸	85%	100℃	0
	ふっ酸	55%	常温	0
溶剤	トルエン	100%	常温	0

Table2 No.UF300採用状況(抜粋)

業種	流体	温度
化学	水酸化ナトリウム25%	—
	ふっ酸	—
	硝酸	60℃
	硫酸、水酸化ナトリウム 次亜塩素酸ナトリウム	150℃
	塩酸、水酸化ナトリウム 次亜塩素酸ナトリウム	—
	青酸	80℃
	硫酸75% 水酸化ナトリウム24%	90℃
製紙	エチレングリコール	—
	水酸化ナトリウム22%	100℃
	黒液	160℃
	緑液	90℃
	白液	90℃
機器	亜硫酸+亜硫酸マグネシウム	140℃
	硫酸30%	60℃
	硫酸混合蒸気(硫酸0.5%)	190℃

的に向上させた製品である^{8,9)}。Table1に示すように、水酸化ナトリウム(苛性ソーダ)などの強アルカリと、硫酸や塩酸、硝酸といった強酸のいずれにも優れた耐性を有しており、かつ、高温特性も兼ね備えた、汎用性の高いガスケットである。これにより、高温の酸とアルカリが共存するプラントにおいてガスケットの統合化を可能とする。2013年7月に販売を開始し、二年が経過した現時点では、Table2に示すように、化学メーカーや製紙メーカーを中心に実績が蓄積しつつある。

2-3) ホワイトハイパー® No.SF300

黒色材料や着色剤を使用していない白色のシートガスケットであり、流体への黒色異物の混入を嫌う箇所に適している¹⁰⁾。高温特性等はNo.GF300と同等である。

2-4) ブライトハイパー® No.MF300

No.SF300と同様に白色のシートガスケットであり、かつ、耐酸性、耐アルカリ性を有することが特長である^{11,12)}。高温の強アルカリを除く各種流体に適用することができる。

3. ガスケットを選定する条件

3-1) 流体

ガスケットを選定する上で、第一条件となるものが流体に関する情報であり、流体の腐食性、温度、圧力を元にガスケットを選定することとなる。一般的には、腐食性の強い流体にはふっ素樹脂系シートガスケット、温度あるいは圧力が高い場合はうず巻形ガスケットやメタルジャケットガスケットなどのセミメタリックガスケットかリングジョイントガスケットなどのメタル

ガスケットを選定することが多い。

3-2) 汚染性

ガスケットの内径端面は流体と接触しており、流速が高い、スラリー状あるいは高粘度の流体の場合、ガスケットを侵食することがある。流体全体量からみてガスケットのパーティクル(欠損粒子)はきわめて少量であるが、黒色のガスケットを使用した場合、流体に細かな黒色異物が混じることとなる。このような事例を避けるために、白色系のガスケットを選定することがある。

3-3) 締付環境

ガスケットはフランジ間に装着し、ボルトを締付けることによりシール材として機能を果たすことになるが、寸法、ボルト材質、締付工具、あるいは、フランジ周辺に工具を取り回すだけの十分な空間があるかどうかなどの条件により、負荷される締付面圧は大きく変動する。規格フランジの場合、口径が大きくなるにつれて締付面圧は低くなる傾向にあり、また、樹脂ライニング、グラスライニングフランジではその強度が問題となり、締付面圧を低くせざるを得ない。

締付面圧が低くなればガスケットからの漏れも大きくなることから、締付環境に合わせてガスケットを選定する必要がある。

4. ガスケットの使い分けと統合化

使用条件に合わせてガスケットは選定されているが、指針のひとつとして当社で案内している選定基準を紹介する。なお、これは新設、増設プラントにガスケットを選定する際の指針であり、各ユーザーが実績や評価を経て使用されている

用途	最高使用温度	ガスケット
ユーティリティ	100℃	ジョイントシート
	300℃	高機能シート
	500℃	うず巻形ガスケット (クリーンタイト®)
プロセス	200℃	充填材入りふっ素樹脂シート
	260℃	高機能シート
ユーティリティ プロセス 共通	400℃	膨張黒鉛シート
	450℃	うず巻形ガスケット (ブラックタイト®)
	750℃	うず巻形ガスケット (マイカファイラー製品)

Figure1 用途別代表製品の選定基準

ガスケットに影響を与えるものではない。

300℃以下の温度領域に対して、石棉規制が強化される以前は石棉ジョイントシートが主に使われていたが、規制強化を受けて、非石棉のジョイントシート(ノンアス®ジョイントシート)、充填材入りふっ素樹脂圧延シート(バルカロン®)、高機能シートガスケット、膨張黒鉛シート、うず巻形ガスケットなど様々な製品が使われるようになった。汎用性の高い一つの製品から多数の製品への代替は、管理面で煩雑さを生んだ。

これを解消するソリューションとして、高機能シートガスケットの活用を提案する。ユニバーサルハイパー®No.UF300は、優れた耐薬品性と高温特性を併せ持つことから、プロセス配管全般に適用することができる。ユーティリティ配管にも適用できることから、300℃以下の用途全般を“統合化”することができる。また、No.GF300の長期使用実績があるプラントでは、ユーティリティを中心にNo.GF300、シビアプロセスを中心にNo.UF300を適用することも有効である。なお、付帯条件として、白色が必要な場合にはNo.SF300あるいはNo.MF300、締付面圧が低い場合はふっ素樹脂ジャケットガスケットNo.N7030を選定する。

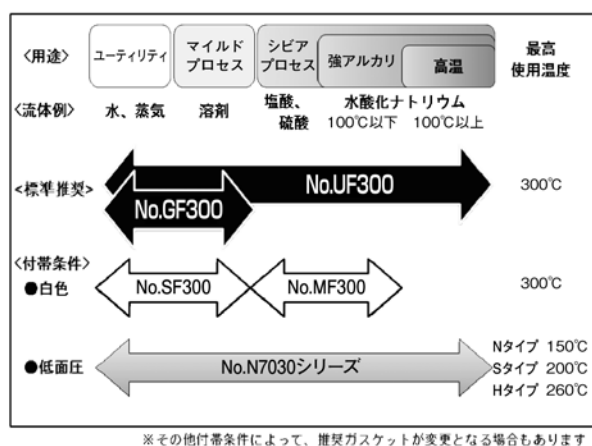


Figure2 300℃以下におけるガスケット統合化の提案

(Abstract)

Various gaskets are used for plants according to the location environment. Compressed asbestos fiber sheet was shifted to various alternate products because of stopping manufacturing compressed asbestos fiber sheet. This paper introduced the line-up of high performance sheet and proposed the gasket integration for less than 300℃.

Keywords:

high performance sheet, gasket integration

5. おわりに

顧客の使用環境に適合した製品を提供することを責務として、使用環境に合わせた製品を多数開発してきたが、その結果として、複数のガスケットを使い分ける煩雑さを生んだ。プラントの安定、安全操業を図る上で、実績を重視しこれまで使用していたガスケットを使い続けるのも一策ではあるが、ここ数年、保全作業員の施工ミスを防ぐ予防安全(アクティブセーフティ)の一つとして、ガスケットの統合化を検討する事象も顕在化した。ガスケットメーカーとして、用途と時代に適合した製品を供給し続けることにより、顧客各位の保全技術維持向上に貢献できるよう邁進する次第である。

6. 参考文献

- 1) 朝比奈 稔、岡田 勝志、バルブ技法、No.56, pp.70-78 (2006) .
- 2) 西田隆仁、黒河真也他、最新 シーリングテクノロジー－密封・漏れの解析とトラブル対策－, pp.81-87 (2010) .
- 3) 黒河真也、西田隆仁、配管技術, pp.68-71 (2011) .
- 4) 化学業界 一体で対応 事故防止へ検討会、日刊工業新聞、(2012.11.8)
- 5) 石化協 保安トップ懇談会開催、化学工業日報、(2012.11.29)
- 6) 山中幸、検査技術, pp.50-54 (2008) .
- 7) 小池真二、バルカー技術誌、No.22, pp.17-22 (2012) .
- 8) 黒河真也、バルカー技術誌、No.25, pp.18-21 (2013) .
- 9) 黒河真也、西田隆仁、配管技術, pp.77-81 (2014) .
- 10) 小池真二、バルカー技術誌、No.15, pp.12-14 (2008) .
- 11) 出口聡美、プラントエンジニア、No.1, pp.24-29 (2011) .
- 12) 小池真二、バルカー技術誌、No.20, pp.12-15 (2011) .

(摘要)

化工装置中使用到的垫片种类因顾客的使用环境不同而多种多样。特别是伴随着石棉密封压缩板的停产，出现了各种各样的替代品。本文在介绍高机能板材产品线的同时，针对300℃以下的领域提出垫片整合方案。

关键词：

高机能板材、整合



黒河 真也

研究開発本部
開発部 開発グループ

ジョイントシートガスケット付き 管フランジ締結体の密封特性について

1. はじめに

圧力設備の配管接続部に多用されるガスケット付き管フランジ締結体には、長い間石綿系ガスケットが使用されてきた。しかし、平成17年夏ごろに発覚した石綿被害と環境問題から、平成20年11月の労働安全衛生施行令等改正以降、代替品として非石綿ガスケットが使用されている¹⁾。非石綿ガスケット使用が先行した欧米では、ふっ素樹脂系(PTFE)ガスケットの吹き抜けなどによる漏洩事故が発生した²⁾。このような事故は、石綿ガスケットと非石綿ガスケットの特性の差異に対する知見の欠如によるものと考えられる。このため最近使用されるようになった非石綿ガスケット付き管フランジ締結体の密封性能が従来使用されていた石綿ガスケット付き管フランジ締結体のそれに対して良好なのか劣っているのかを調べる必要がある³⁾。これが本報の第一の目的である。なおここでは締結体の各ボルトの初期締付力を同一で行う。

このためガスケット単体での応力-ひずみ線図のほかにJIS B2490⁴⁾による密封性能試験によりガスケット単体での密封性能比較及び実際の管フランジ締結体に石綿および非石綿ジョイントシートガスケットを挿入し締結体の密封性能を比較する。

第二の目的はボルト初期締付力のばらつきが密封性能に及ぼす影響⁵⁾を調べることである。ボルト初期締付の2つの方法(ASME法およびJIS法)⁶⁾⁷⁾により締付け、ばらつきの程度を明らかにし、更にばらついていたボルト初期締付力で締結されたジョイントシート付き管フランジ締結体の漏洩特性を調べる。米国PVRC(Pressure Vessel Research Council, 圧力容器研究委員会)のBFC(Bolted Flanged Connection Committee, ボルトフランジ締結体委員会)がボルト初期締付力のばらつきを補正するための係数、すなわちボルト初期締付力基準締付効率 η を提案している⁸⁾。本報では漏洩量基準の新たな締付係数(Assembly Efficiency)を述べ、許容漏洩量を満足するボルト初期締付力の設定法を示す。

2. ジョイントシートガスケット(CSG)の力学特性評価と管フランジ締結体の基本漏洩量

まず非石綿ジョイントシートガスケット(以下、CSGと表す。)単体の密封性能試験を行う。使用するガスケットの寸法は、内径88.9mm、外径149.4mm、厚さ1.5mmである。JIS B2490の基本密封特性試験⁴⁾に基づいてガスケットの応力-変形特線図を作成後、漏洩量を測定した。Figure1は試験

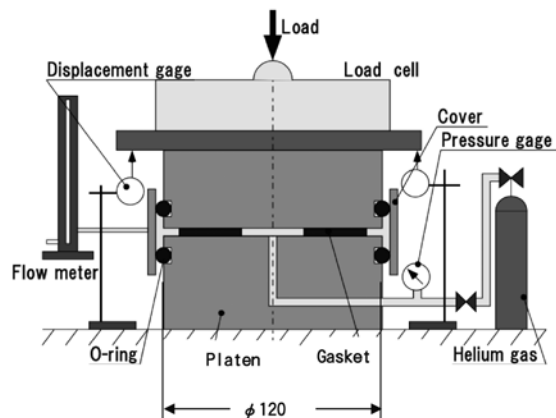


Figure1 JIS B2490に基づく基本密封特性試験の模式図

方法を示す。内部媒体はヘリウムガスを用い、漏洩量 L を石けん膜流量計を用いて測定する。

基本漏洩量 L_b は、基本密封特性試験で測定された漏洩量 L を用いて、寸法比を考慮して求める。得られた応力-変形線図及び基本漏洩量特性の関係をj用いて計算により管フランジ締結体のガスケット接触応力分布から管フランジ締結体の漏洩量評価を行う。

Figure2はジョイントシートガスケット(CSG)を用いた管フランジ締結体の密封試験の模式図を示す。試験に用いた管フランジの材質はステンレス鋼、SUS304であり、呼び径、呼び圧力はそれぞれASME規格の3インチ、クラス600である。締結用のボルトの材質はSUS304、呼び径はM20、ボルト本数 N は8本である。各ボルト軸部の2枚のひずみゲージにより、内圧作用時のボルト軸力の変化を測定する。内部流体はヘリウムガスを用いた。内圧はひずみゲージ式圧力変換器

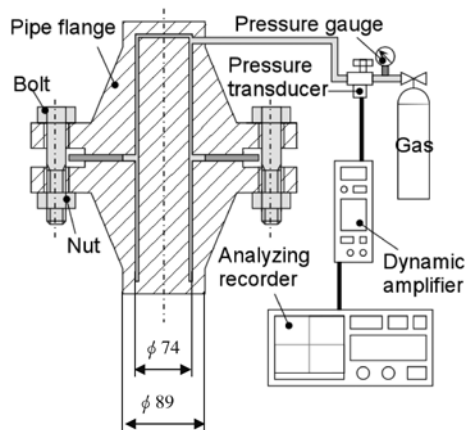


Figure2 3インチ管フランジ締結体の密封試験の概略図

により、漏洩量は圧力降下法により測定する。

2-1) ガasketの力学的特性(応力-変形の関係)

Figure3は測定されたCSG単体の応力-変位の関係を示す。石棉CSGについては小林らの結果⁹⁾を参照した。除荷過程での石棉CSGと非石棉CSGの縦弾性係数は、わずかなではあるが非石棉CSGのほうが小さい。

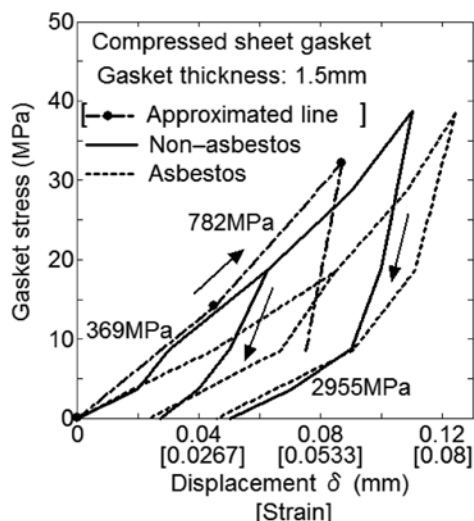


Figure3 CSG (ジョイントシートガスケット) 単体の応力-変位線図 (JIS B2490に準拠して測定)

2-2) CSG (ジョイントシートガスケット) の基本漏洩量

Figure4は、JIS B2490⁴⁾で得られたCSGのガスケットの厚み方向の変形量 δ とガスケット単体の基本漏洩量 L_s の関係を示す。非石棉CSGは石棉CSGに比べて、同じ変形量 δ の場合には基本漏洩量 L_s がより小さく、密封性能がより優れて

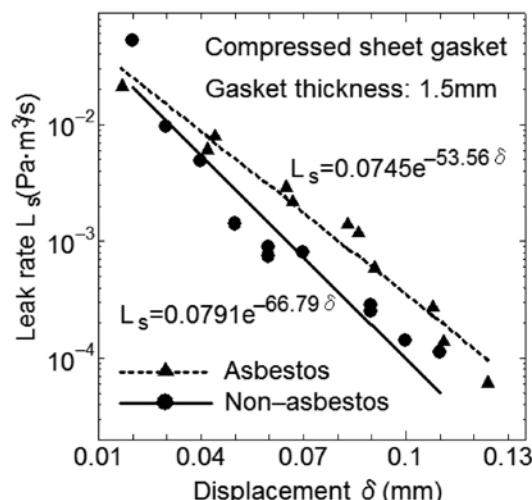


Figure4 CSG (ジョイントシートガスケット) の基本漏洩量とガスケット変形量の関係(測定値)

いる。これは、Figure2に示すように非石棉CSGは石棉CSGに比べて若干ではあるが除荷(復元)時の直線の傾き(縦弾性係数)がより小さい。ばらつきはあるが、使用した非石棉CSGではある点での傾き(縦弾性係数)は4.4Gpaであり、石棉CSGのそれは5.6Gpaであった。傾きがより小さい非石棉CSGを用いた締結体の密封性能は石棉CSGのそれより良好と推測される。

2-3) 内圧を受ける管フランジ締結体の力学関係と漏洩量推定法

Figure5は管フランジ締結体の力学関係を示し、一般的にN本のボルト・ナットでボルト初期締付力 F_t で均一に締付けられた締結体に内圧 P が作用した状態を示す。内圧作用により管端面には軸方向引張り力 W が発生し、各ボルトにはボルト軸力は F_t だけ増加し、 $F_t + F_t$ となる。ガスケット接触面には力 F_c が減少し(ボルト1本あたり)、 $F_t - F_c$ となる。この時、 $\phi = F_t / (W/N)$ の値を内力係数と呼ぶ。接触面から失われる力 $F_c = (1 - \phi) \times (W/N)$ となる。内力係数の値が大きければ、 F_c の値が小さくなり密封性能は向上する。このためにはFigure3中の傾きをより小さくすることである。Figure5の場合の石棉CSG及び非石棉CSGを用いた管フランジ締結体の密封性能及びガスケット接触応力分布を弾性論と三次元有限要素法(FEM)により解析する³⁾。ガスケット付き管フランジ締結体の漏洩量は、計算で求めるガスケット接触応力分布より推定する。ガスケット接触面を円周方向に分割し、各部分の平均ガスケット接触応力と基本密封特性試験結果⁴⁾より得られるガスケット接触応力と漏洩量の関係(Figure4)を用いて各部分の漏洩量を推定する。各部分の漏洩量の総和より管フランジ締結体の漏洩量とする。解析の詳細は文献3)を参照願いたい。

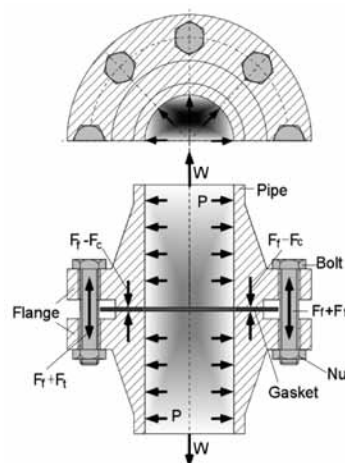


Figure5 内圧が作用する管フランジ締結体の力学関係

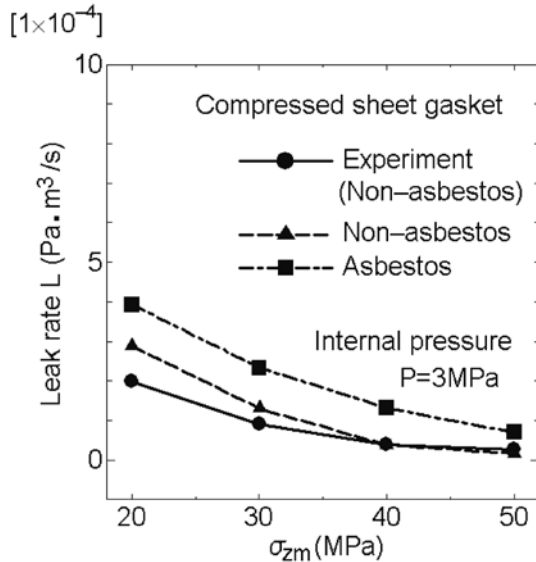


Figure6 管フランジ締結体の漏洩量推定結果及び漏洩量測定結果

2-4) 締結体の漏洩量

Figure6はCSG付き管フランジ締結体(Figure2)の漏洩量推定結果及び漏洩量測定実験の実験結果を示す($P=3\text{MPa}$ の場合)。縦軸は漏洩量 L を、横軸はボルト初期締付時の平均ガスケット接触応力 σ_{zm} を示す。密封性能は常温の場合であるが、非石綿CSGを用いた締結体(▲印)の漏洩量は従来の石綿CSGを用いた締結体(■印)のそれと少なくとも同等以上の密封性能(計算値)を有することが示されている。推定結果(▲印)は実験結果(●印、非石綿)ともかなりよく一致している。

3. ボルト初期締付力のばらつきが管フランジ締結体の密封性能に及ぼす影響

Figure5に示したように N 本のボルト・ナットで締結する管フランジ締結体はトルクレンチにより、JIS B 2251に規定されている方法⁶⁾とボルトを対角に締付けるASME PCC-1⁷⁾が考えられる。Table1はJIS法の締付方法⁶⁾を示し、Table2はASME法⁷⁾を示す。ここでの目的は、1) 締付手順(JIS B 2251⁶⁾及びASME PCC-1⁷⁾)及び管フランジ呼び径(3" (小口径)及び20" (大口径))の差異がボルト初期締付力のばらつきに及ぼす影響、2) 締付手順(JIS B 2251及びASME PCC-1)及び管フランジ呼び径の差異が管フランジ締結体の密封性能に及ぼす影響、3) 有限要素法(FEM)解析によるボルト初期締付力のばらつきが管フランジ締結体のガスケット接触応力分布に及ぼす影響などを調べ、4) 漏洩量基準の締付効率 η ⁵⁾を示すこと、である。

Table1 JIS B 2251の締付手順

手順	締付方法
仮締付け (インストール)	ボルトを手で軽く締付ける。その後4本ないし8本のボルトを選び、対角締付けにより締付トルクを漸増させ、数巡で目標締付トルクの100%に近い締付トルクを与える。同時にフランジ面間距離を均等にする。 (ボルト本数が8本以下の場合は全ボルトを上記の方法で締付ける)
本締付け	目標締付トルクの100%で、時計回りに規定周回(フランジ呼び径が10インチ以上は6回、10インチ未満は4回)締付ける。
増締め	必要ならば、4時間以上経過後に本締付けと同様の方法で1周ないし2周締付ける。

Table2 ASME PCC-1の締付手順

手順	締付方法
仮締付け	手で軽く(15-30Nm)締付ける (目標値の20%を超えてはならない)
1周目	対角上に目標締付トルクの20-30%で締付ける
2周目	対角上に目標締付トルクの50-70%で締付ける
3周目	対角上に目標締付トルクの100%で締付ける
4周目	時計回りに目標締付トルクの100%でナットが回転しなくなるまで締結ける
5周目	4時間以上経過した後、4周目と同様の方法で締結ける

小口径(3")及び大口径(20")ガスケット付き管フランジ締結体を用いてトルクレンチによるボルト・ナットを締付け(トルク法)、ボルト初期締付力のばらつき測定及び管フランジ締結体からの漏洩量測定実験を行う。実験により得られた各段階のボルト軸力を有限要素応力解析に用い、最終的ガスケット接触応力分布を求め、漏洩量を推定する。

3-1) 締付時のボルト軸力変動及び漏洩量測定実験

Figure7は非石綿CSG付き20"管フランジ締結体の寸法と写真を示す(フランジ外径775mm)。非石綿CSG付き20"管フランジ締結体(ボルト本数 $N=24$)とFigure2に示した3"管フランジ締結体($N=8$)に対してボルト初期締付時のボルト軸力測定及びヘリウムガスを用いた漏洩量測定実験を行う。各締付段階のボルト軸力は軸部に貼られたひずみゲージにより測定する。管フランジ締結体のボルト1本当たりのボルト初期締付力 F_f は、ボルト初期締付時の平均ガスケット接触応力 σ_g とガスケット・管フランジ接触面の面積 A_g との積をボルト本数 N で除した値とする($F_f = \sigma_g \times A_g / N$)。目標とするボルト締付トルク T はトルク係数 k 、ボルト初期締付力 F_f 、ボルトの呼び径 d を用いて、 $T = k \times F_f \times d$ により算出する。なおトルク係数 k はボルト・ナットにより、管フランジの1本のボルト穴周辺をアナロジーした一対の中空円筒(3"管フランジ用：内径



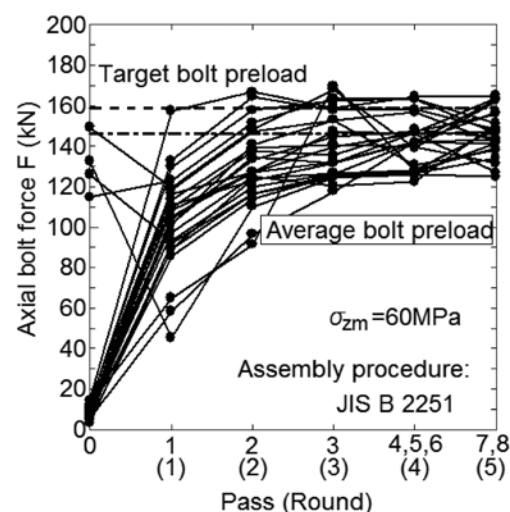
Figure7 20インチ管フランジ締結体の写真
(ボルト呼び径M33、ボルト本数N=24、管内径φ476、フランジ外径φ775)

22mm×外径42mm及び高さ40mm、20"管フランジ用：内径35mm×外径60mm及び高さ65mm)を締付ける実験により予め測定した。この結果、小口径(3")管フランジのトルク係数は $k=0.16$ 、大口径(20")管フランジは $k=0.13$ となった。管フランジ、ナット座面及びボルト・ナットねじ山の各接触面には潤滑剤として速乾性の二硫化モリブデンを塗布している。

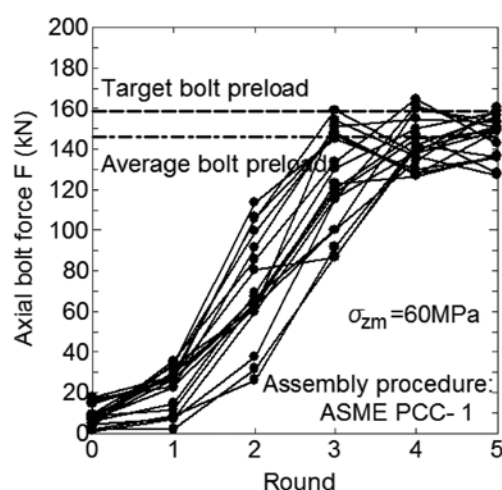
管フランジ締結体の密封性能(漏洩量)を評価するために、PVRCより提案されているタイトネスパラメータ $T_p^{10)}$ を用いる。 T_p の値が大きいくほど漏洩量が少なく密封性能が良いことを示している。

3-2) 実験結果

Figure8は大口径(20")管フランジ締結体に対して、ボルト初期締付時の平均ガスケット接触応力 σ_{zm} が60MPaとなるように目標締付トルクを設定した場合の、各ボルト締付段階でのボルト軸力変動の測定結果を示す。Figure8(a)はJIS法、Figure8(b)はASME法である。1本あたりの目標ボルト初期締付力 F_i は159.0kN($F_i=T/kd$)である。縦軸はボルト1本あたりの各段階でのボルト軸力 F を示し、横軸はボルト締付手順の各段階を示している。ASME PCC-1⁷⁾では各段階を仮締付け(Round0)、1周目(Round1)、2周目(Round2)としており5周目(Round5)で完了である。JIS B 2251⁶⁾では締付手順を大きく、仮締付け、本締付けおよび増締め(増締め)の三段階としている。ASME PCC-1⁷⁾との比較のため、仮締付け(Round0)、本締付けにおいて管フランジ締結体を一周締付けるごとにPass1、Pass2とする。また、Pass 4、Pass5、



(a) JIS B 2251⁶⁾による締付け



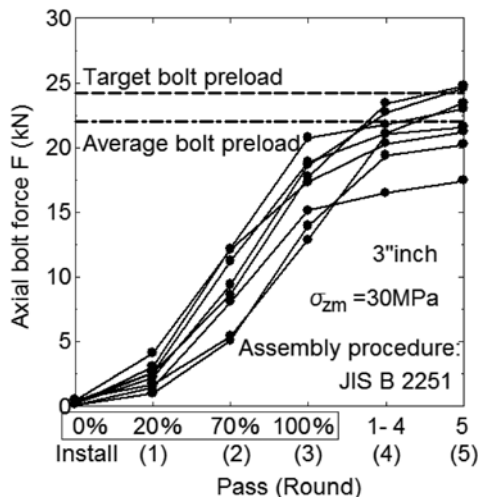
(b) ASME PCC-1⁷⁾による締付け

Figure8 JIS法⁶⁾およびASME法⁷⁾によるボルト締付過程におけるボルト軸力変動の測定結果
(20"管フランジ締結体)

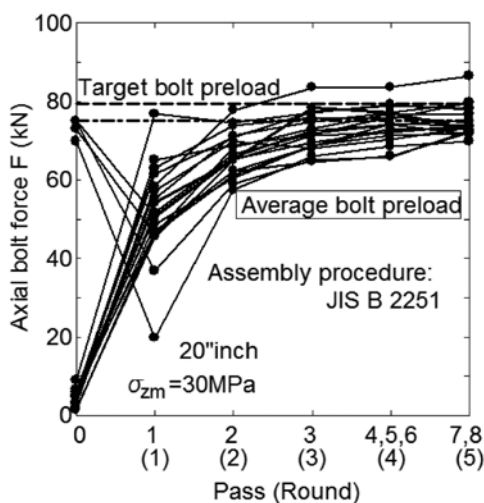
Pass6を4周目(Round4)とし、Pass6の結果のみを示している。同様に増締め(Pass7、Pass8)についても、Pass8の結果を5周目(Round5)として示す。図中の一点鎖線は締付完了時の全ボルト軸力の平均値(Average bolt preload)を示し、破線は目標ボルト軸力(Target bolt preload)を示す。2つの手順(JIS法およびASME法)とも、ボルト締付完了時の全ボルト軸力は、ばらつきが生じている。さらに締付完了時の全ボルトの平均ボルト軸力が目標ボルト軸力に達していないことが示されている。ボルト軸力の最大値と最小値の差は、JIS法では約40kN(25%)、ASME法では約33kN(21%)であった。ASME法の方がJIS法に比べ、ばらつきが小さいが、この差異は極めて小さい。両締付方法が締結体のボルト初期締付力のばらつきに及ぼす影響は小さい。更に

両結果の比較から、JIS法による締付けの方が、ボルト軸力の収束性が良い。ボルト締付けの周回数はJIS法がより少なく、締付所要時間もより短く効率的である。

Figure9はJIS B 2251⁶⁾による小口径(3")管フランジ締結体(Figure9(a))及び大口径(20")管フランジ締結体(Figure9(b))でのボルト締付時の、各段階でのボルト軸力変動の比較を示す。目標ボルト締付トルクは平均ガスケット接触応力 σ_{zm} が30MPaとなるように定めている。前述のように両方法でのばらつきの差異は小さいため、ここではJIS法によりボルト締付けを行い、管フランジ呼び径の差異(3"および20")について比較する。小口径管フランジ締結体(特にボルト本数8本以下)は、すべてのボルトが仮締付対象及び締付



(a) 小口径(3インチ)管フランジ締結体



(b) 大口径(20インチ)管フランジ締結体

Figure9 小口径(3インチ)と大口径(20インチ)管フランジ締結体のボルト締付過程(JIS法)におけるボルト軸力変動の測定結果

周回数が少ないため、Figure9の横軸はRound0からRound3までを仮締付けとしRound4を本締付け、Round5を増締めとする。ボルト締付完了時のボルト軸力の最小値に対する、ボルト軸力の最大値と最小値の差の割合は、それぞれ小口径(3")管フランジ締結体では22.3%、大口径(20")管フランジ締結体では23.7%であった。この結果よりばらつきの程度はほぼ同程度である。目標ボルト軸力(Target bolt preload)と平均ボルト軸力(Average bolt preload)の差は、小口径(3")管フランジ締結体では9.9%、大口径(20")管フランジ締結体では5.8%であった。従って、ボルト軸力のばらつきの程度は管フランジ締結体の呼び径の差異(3"および20")には大きく依存しない。

Figure10は、内圧作用下で、小口径(3")管フランジ締結体および大口径(20")管フランジ締結体の各目標平均ガスケット接触応力 σ_{zm} が非石綿ガスケット付き管フランジ締結体のタイトネスパラメータ(T_p)の値(漏洩量)に及ぼす影響を示す。縦軸はタイトネスパラメータ T_p を示し、横軸はボルト締付時の目標平均ガスケット接触応力 σ_{zm} を示す。丸印(○)で示す線はボルト初期締付時のボルト軸力のばらつきのない状態、すなわちボルト軸力が同一(Uniform)の管フランジ締結体の密封性能を示す。四角印(□)で示す線はJIS B 2251⁶⁾により締付けた時の結果を示し、ひし形印(◇)で示す線はASME PCC-1⁷⁾により締付けた時の結果を示す。破線は小口径(3")管フランジ締結体の結果を示し、実線は大口径(20")管フランジ締結体の結果を示す。これらの結果より、JIS法⁶⁾とASME法⁷⁾より得られる密封性能は同等であることが示されている。ボルト初期締付力がばらついた締結体のタイトネスパラメータ T_p の値はボルト軸力が同一である締結体

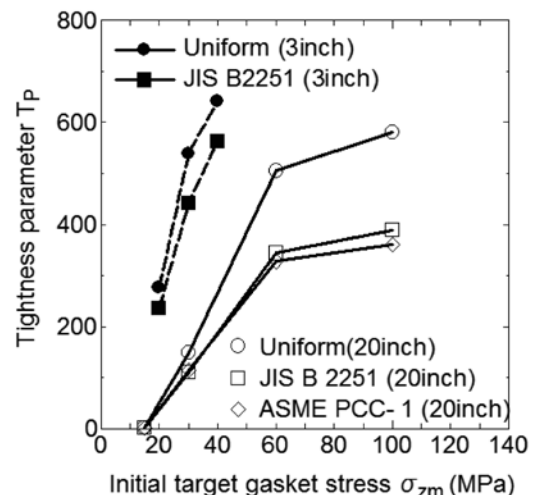


Figure10 初期ガスケット接触応力が小口径(3インチ)と大口径(20インチ)管フランジ締結体のタイトネスパラメータ T_p に及ぼす影響

のそれより小さく、密封性能が劣ることが示されている。また密封性能の差異は目標ボルト締付トルクが大きいほど、(平均ガスケット接触応力 σ_{zm} が大きいほど)大きくなることが示され、その度合いからボルト初期締付力のばらつきの影響は、大口径管フランジ締結体の方がより大きいことが分かる。小口径(3")管フランジ締結体の T_p の値は平均ガスケット接触応力が20~40MPaの間では大口径(20")管フランジ締結体のそれより大きく、小口径(3")管フランジ締結体の密封性能が大口径締結体のそれより良いことを示している。大口径管フランジ締結体はフランジローテーションの影響が大きいので、密封性能は劣ることが知られている。

3-3) 有限要素法(FEM)解析結果

Figure11はボルト軸力測定実験により得られた各締付段階のばらついたボルト軸力の値を用いてFEM解析を行い、ガスケット接触面での接触応力分布を計算した後に内圧を作用させたときの最終的ガスケット接触面での円周方向接触応力分布を示す。非石綿CSG付き3"及び20"管フランジ締結体の内半径および外半径位置における円周方向ガスケット接触応力分布を示す。計算はFEMコードANSYSを用いた。ここでは、小口径(3")管フランジ締結体と大口径(20")管フランジ締結体で密封性能が異なるため、小口径(3")管フランジ締結体はボルト初期締付時の目標平均ガスケット接触応力 σ_{zm} を30MPa、大口径(20")管フランジ締結体は、 σ_{zm} を60MPaとしている。縦軸はガスケット接触応力 σ_z を締付時の目標平均ガスケット接触応力 σ_{zm} で無次元化した値を示し、横軸には円周方向角度 θ を示す。この図より、

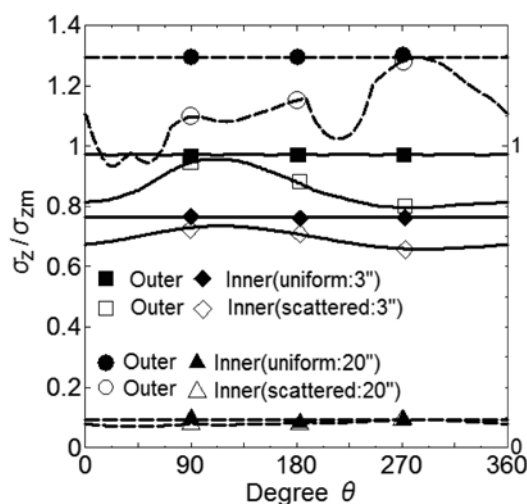


Figure11 内圧作用時の大口径(20")管フランジ締結体及び小口径(3")管フランジ締結体の円周方向ガスケット接触応力分布の比較

小口径(3")管フランジ締結体の場合、ボルト初期締付力のばらつき(Scattered)はガスケット外半径からガスケット内半径にかけてガスケット接触応力分布に影響し、ガスケット接触応力分布が比較的一様に分布することが分かる。大口径(20")管フランジ締結体の場合、ガスケット外半径位置でのガスケット接触応力分布は大きく分布し、ガスケット内径位置でのガスケット接触応力分布の変化は小さいことが示されている。大口径(20")管フランジ締結体では、ボルト初期締付力が外半径付近のガスケット接触応力のみに大きく影響するため局所的にガスケット接触応力が著しく小さくなる、いわゆるフランジローテーションが発生していると推測される。従って、大口径(20")管フランジ締結体は、小口径(3")管フランジ締結体より密封性能がより低下する。

3-4) 漏洩量基準の締付効率 η の提案

PVRCでは、ばらついた軸力の平均値を目標とする値になるように締付効率 η を決めている。しかし漏洩量は別問題であり、ばらつきに最小のボルト軸力に依存する。このため許容漏洩量を達成するために、締結体の漏洩量基準の締付効率 η を定義する。すなわち実際のボルト初期締付力は目標ボルト初期締付力 F_t の $1/\eta$ 倍(F_t/η)として締付けると、実際の漏洩量が設計された許容漏洩量以下になることを意味している。

管フランジ締結体のボルト初期締付力がばらついた場合(Scattered)における密封性能を表すタイトネスパラメータを T_{ps} とし、またボルト初期締付力が同一(Uniform)である場合でのそれを T_{pu} とする。この両者の比を締付効率 $\eta(=T_{ps}/T_{pu})$ とする。

Figure12は η に関する結果を示す。縦軸は締付効率 η を示し、横軸は初期平均ガスケット接触応力 σ_{zm} を示す。PVRCが提案する締付効率 $\eta=0.85$ (ボルト軸力基準)と比較すると漏洩量基準の締付効率 η の方がPVRCのそれより小さい値になる。管フランジ締結体の密封性能が良い場合すなわちボルト初期締付時の目標平均ガスケット接触応力を大きく設定した場合($\sigma_{zm}=60\text{MPa}$ 程度)ではガスケット外周部分での大きなボルト軸力のばらつきの影響によりボルト初期締付力が同一の締結体より密封性能が低くなる。この割合はガスケットの使用範囲内では一定値に収束することが示されている。従って、大口径管フランジ締結体(8"以上)について漏洩量(T_p)基準の締付効率 η を0.65、小口径管フランジ締結体では η を0.8にすべきである。すなわちPVRCの提案する $\eta=0.85$ では許容漏洩量を満足しない危険側の設定となることを示している。なお永田¹¹⁾の研究による石綿ガスケット付き小

口径(3")管フランジ締結体の結果を破線で示す。非石綿CSGの場合の方が石綿CSGを用いた締結体の場合より η の値が大きく、非石綿CSG付き管フランジ締結体ではボルト初期締付力のばらつきが密封性能に及ぼす影響がより小さいことを示している。

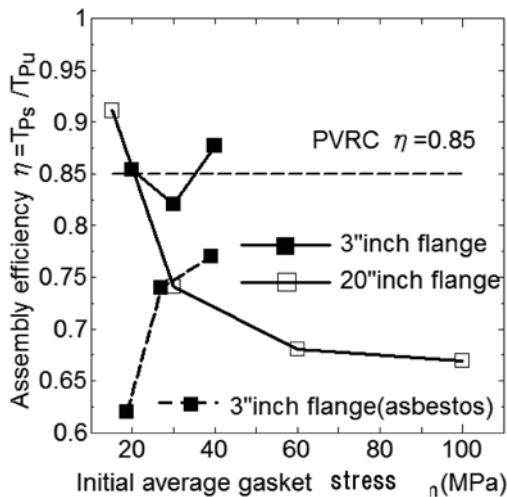


Figure 12 初期平均ガスケット接触応力が締付効率 η に及ぼす影響

4. おわりに

本報では、まず長い間使用されてきた石綿ジョイントシートガスケット(石綿CSG)と最近使用され始めた非石綿ジョイントシート(非石綿CSG)の密封性能に関して述べ、1)ガスケット単体の密封性能は非石綿CSGの方がやや良好である、2)3"管フランジ締結体に挿入したときの密封性能も非石綿CSGの場合の方が同等かそれ以上であることを示した。

次に、JIS法およびASME法による管フランジ締結体のボルト初期締付実験を行い、1)目標ボルト初期締付力に対して実際のボルト初期締付力は小さくなることを示し、2)JIS法とASME法によるボルト締付力のばらつきは同程度であることを示した。ただしボルト本数が多くなると、JIS法の方が締付時間の節約が大きい。3)ばらついたボルト初期締付力の下で、締結体に内圧を作用させたときの漏洩基準の締付効率 η を新たに定義し、PVRCの定義する η との差異を示した。4) η の値は非石綿CSGを用いた締結体では呼び径に依存し、呼び径が大きくなるほど η の値は大きくなることを示し、 η は0.65とし、その逆数を目標ボルト初期締付力に乗じると許容漏洩量を満足できる締結体の組立ができることを示した。 η の値も非石綿CSG付き(3")締結体の方が石綿CSG(3")締結体に比べて大きいことも示した。

終りに本報に関する研究は、東京電力と広島大学(澤)との共同研究及び高木愛夫氏(東京電力株式会社技術統括

部技術開発センター)の学位論文(広島大学,平成26年1月)に關したものであることを付記させていただく。

5. 参考文献

- 1) 沢俊行、辻裕一、アスベスト代替化製品化検討会の結果と今後について、配管技術、Vol.48、No.13、pp.1-6 (2006)。
- 2) Ando F., Sawa T. Ikeda M., A New Design Method for Piping Components Against Leakage and Damage Subjected to High Level Earthquake Load, Proceedings of the ASME Pressure Vessel and Piping Conference, PVP-Vol.44, No.1, (2002), pp.113-118.
- 3) 高木愛夫、大宮祐也、小林隆志、沢 俊行、内圧作用下における非石綿ジョイントシートガスケット付き管フランジ締結体の応力解析と密封性能評価、圧力技術、49巻5号、pp.216-224. (2011)。
- 4) 日本工業規格、JIS B 2490、管フランジ用ガスケットの密封特性試験方法、(2008)。
- 5) 高木愛夫、大宮祐也、小林隆志、沢 俊行、管フランジ呼び径とボルト初期締付け力のばらつきが内圧を受ける非石綿ガスケット付き管フランジ締結体の密封性能に及ぼす、圧力技術、50巻、6号、pp.315-325 (2012)。
- 6) 日本工業規格、JIS B 2251、フランジ継手締付け方法、(2008)。
- 7) ASME Post Construction Code, PCC-1, Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly, (2010)。
- 8) Bouzid, A. H., Derenne, M., El-Rich, M., Effect of Flange Rotation and Gasket Width on the Leakage Behavior of Bolted Flanged Joints, Welding Research Council Bulletin, 496, (2004)。
- 9) 小林隆志、清家永太、低レーティングフランジへのSWG適用のための密封特性比較、山梨講演会講演論文集、652 (2007)。
- 10) ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section VIII Division 1 Nonmandatory Appendix BFJ, Alternative Rules for Bolted Flange Joints with Ring Type Gaskets-Draft, (2000)。
- 11) 永田聡、松本光広、沢俊行、"内圧作用下でのガスケット付管フランジ締結体の応力解析と密封性能評価(ボルト初期締付け力のばらつきの影響)、日本機械学会論文集(A編)、Vol.70、No.699、pp. 1595-1602 (2004)。

(Abstract)

The sealing performance of bolted pipe flange joints with non-asbestos joint sheet gaskets under internal pressure was investigated by FEM calculation and experiment. A new prediction method of seal performance was established and results showed better result than that with the asbestos gaskets. Then, the effects of scatters in bolt preloads tightened according to ASME PCC-1 and JIS B 2490 are examined on scatters in bolt preloads of 3" and 20 " bolted pipe flange joints. The scatter in bolt preload is approximately the same between ASME PCC-1 and JIS B 2490 however the tightening elapsed time by JIS B2490 is smaller than that by ASME PCC-1. In addition, the difference in the sealing performance is smaller when the bolt preloads are tightened the above two methods. Finally, assembly efficiency is proposed newly based on the amount of leakage. The new assembly efficiency proposed is 0.65 for pipe flange joints with joint sheet gaskets.

Keywords:

sealing performance, pipe flange joints, joint sheet gaskets, scatter, assembly efficiency

(摘要)

通过有限元和实验方法，确立了带内压无石棉辊压垫片管法兰连接体的推断泄漏的方法，并确认了和石棉垫片法兰连接体相比密封性能良好。根据ASME PCC- 1和JIS B2490标准，调查了3和20英寸法兰连接体的初期紧固力的偏差，得出两种标准方法的初期紧固力偏差较小，而JIS的紧固方法效率高。对于初期紧固后的法兰连接体而言，两种方法影响泄漏量的差异也较小，同时提出新的组装效率方案。本研究得出的软质垫片法兰连接体的组装效率为0.65。

关键词:

辊压垫片、法兰连接体，密封性能，偏差，组装效率



澤 俊行
広島大学
名誉教授

地球に、そして人にやさしいモノづくり……

バルカー® 現代ガスケット概論



定価 3,000円＋税

近年の様々な環境規制に伴い、ガスケットの種類及びその材料は大きく変容し、ボルト締めフランジ継手の設計基準にも大きな動きが見られます。

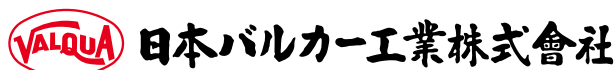
そうした技術的情況を受け、JIS B 0116 “パッキン及びガスケット用語”も37年ぶりに全面改正されました。

このほど刊行いたしました“現代ガスケット概論”は、JIS用語規格改正に至った技術的背景をたどるとともに、ガスケットとボルト締めフランジ継手の技術的基礎を分かり易く説明した初めての“ガスケット解説書”と言えるもので、ガスケットにかかわる多くの方々の参考になると信じております。

著者：日本バルカー工業株式会社
シニアフェロー 西田 隆仁
(にしだ・たかひと)



〒141-6024 東京都品川区大崎2-1-1 ThinkPark Tower 24F
お問い合わせ先：SR室 Email: sr@valqua.co.jp
TEL.03(5434)7372 FAX.03(5436)0560



■本社(代)	☎(03)5434-7370	Fax.(03)5436-0560
■大阪事業所	☎(06)6443-5221	Fax.(06)6448-1019
■M・R・T センター	☎(042)798-6770	Fax.(042)798-1040
■奈良事業所	☎(0747)26-3330	Fax.(0747)26-3340

●札幌営業所	☎(011)736-5620	Fax.(011)736-5621
●仙台営業所	☎(022)264-5514	Fax.(022)265-0266
●日立営業所	☎(0294)22-2317	Fax.(0294)24-6519
●京浜営業所	☎(045)444-1715	Fax.(045)441-0228
●豊田営業所	☎(0566)77-7011	Fax.(0566)77-7002
●名古屋営業所	☎(052)811-6451	Fax.(052)811-6474
●北陸営業所	☎(076)442-0522	Fax.(076)442-0523
●岡山営業所	☎(086)435-9511	Fax.(086)435-9512
●中国営業所	☎(0827)54-2462	Fax.(0827)54-2466
●周南営業所	☎(0834)27-5012	Fax.(0834)22-5166
●松山営業所	☎(089)974-3331	Fax.(089)972-3567
●北九州営業所	☎(093)521-4181	Fax.(093)531-4755
●長崎営業所	☎(095)861-2545	Fax.(095)862-0126
●四日市駐在	☎(059)353-6952	Fax.(059)353-6950
●彦根駐在所	☎(0749)26-3191	Fax.(0749)26-7503
●広島駐在所	☎(082)250-7551	Fax.(082)256-8623
●宇部駐在所	☎(0836)31-2727	Fax.(0836)32-0771
●熊本駐在所	☎(096)364-3511	Fax.(096)364-3570
●大分駐在	☎(090)2502-6125	Fax.(097)555-9340

VALQUA TECHNOLOGY NEWS

夏号 No.29 Summer 2015

発行日・・・2015年7月10日

編集発行・・・日本バルカー工業株式会社

〒141-6024 東京都品川区大崎2-1-1

ThinkPark Tower 24F

TEL.03-5434-7370 FAX.03-5436-0560

制 作・・・株式会社 千 修

グループ会社 国内販売拠点

■株式会社バルカーエスイーエス

- 本社(千葉) ☎(0436)20-8511 Fax.(0436)20-8515
- 鹿島営業所 ☎(0479)46-1011 Fax.(0479)46-2259

■株式会社バルカーテクノ

- 本社・東京営業所 ☎(03)5434-7520 Fax.(03)5435-0264
- 大阪営業所 ☎(06)4803-8280 Fax.(06)4803-8284
- 福山営業所 ☎(084)941-1444 Fax.(084)943-5643

■バルカー・ガーロック・ジャパン株式会社

- 本 社 ☎(03)5510-2177 Fax.(03)3591-5377

<http://www.valqua.co.jp>

※VALQUAの登録商標はVALUEとQUALITYを意味します。 ※本誌の内容は当社のホームページにも掲載しております。
※許可なく転載・複製することを禁じます。