

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、長い間石棉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棉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、代替品として非石棉ガスケットが使用されている¹⁾。非石棉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、石棉ガスケットと非石棉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棉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棉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棉および非石棉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

まず非石棉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

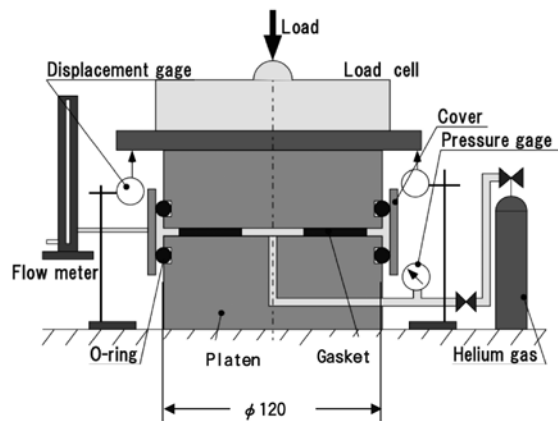


Figure1 JIS B2490に基づく基本密封特性試験の模式図

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_0 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

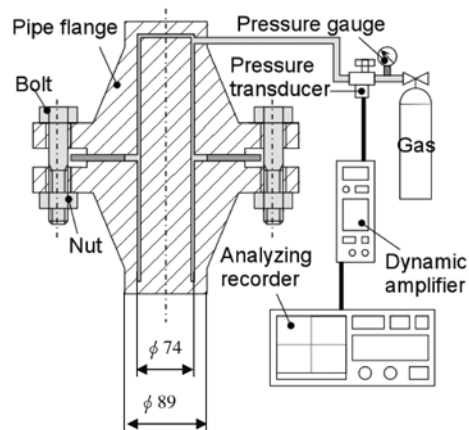


Figure2 3インチ管フランジ締結体の密封試験の概略図

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。石綿CSGについては小林らの結果⁹⁾を参照した。除荷過程での石綿CSGと非石綿CSGの縦弾性係数は、わずかなではあるが非石綿CSGのほうが小さい。

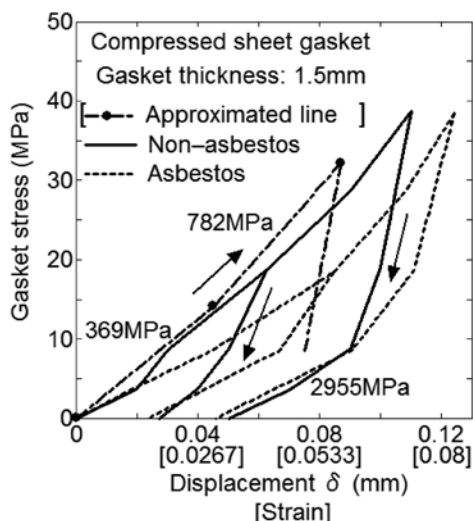


Figure3 CSG (ジョイントシートガスケット) 単体の応力-変位線図 (JIS B2490に準拠して測定)

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。非石綿CSGは石綿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

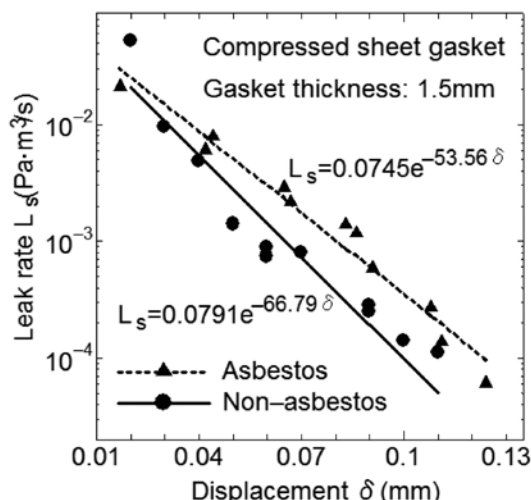


Figure4 CSG (ジョイントシートガスケット) の基本漏洩量とガスケット変形量の関係(測定値)

いる。これは、Figure2に示すように非石綿CSGは石綿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、使用した非石綿CSGではある点での傾き(縦弾性係数)は4.4Gpaであり、石綿CSGのそれは5.6Gpaであった。傾きがより小さい非石綿CSGを用いた締結体の密封性能は石綿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の場合の石綿CSG及び非石綿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。

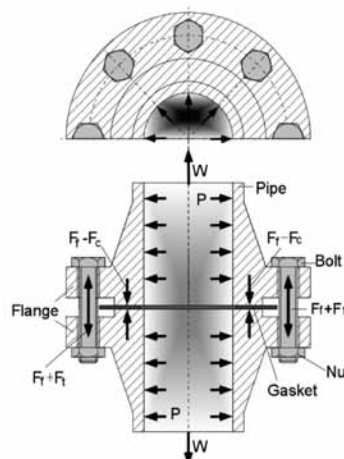


Figure5 内圧が作用する管フランジ締結体の力学関係

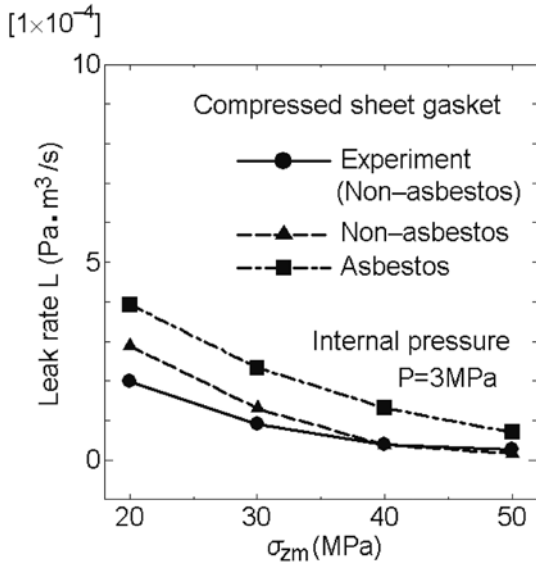


Figure6 管フランジ締結体の漏洩量推定結果及び漏洩量測定結果

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=3MPa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、非石棉CSGを用いた締結体(▲印)の漏洩量は従来の石棉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、非石棉)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付ける
5周目	4時間以上経過した後、4周目と同様の方法で締付ける

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は非石棉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)。非石棉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



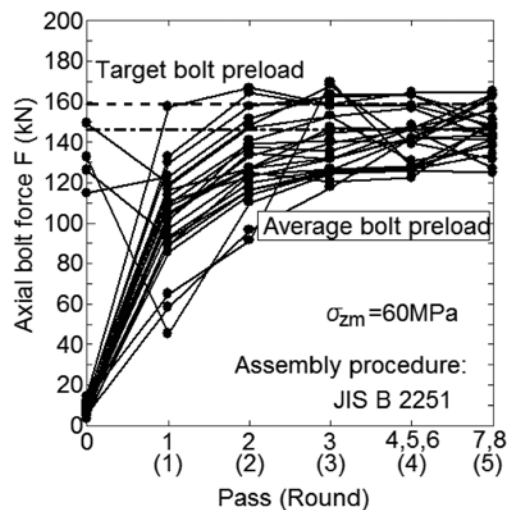
Figure7 20インチ管フランジ締結体の写真
(ボルト呼び径M33、ボルト本数N=24、管内径 ϕ 476、フランジ外径 ϕ 775)

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。

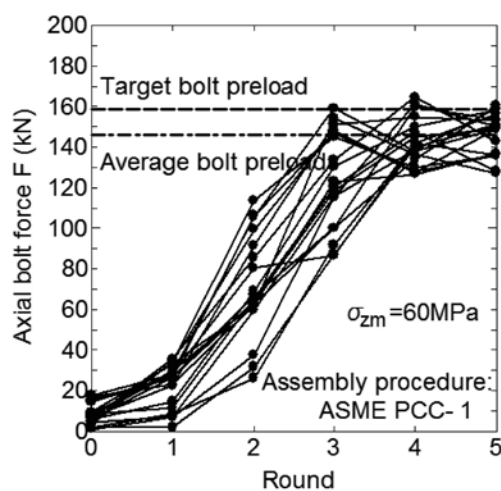
管フランジ締結体の密封性能(漏洩量)を評価するために、PVRCより提案されているタイトネスパラメータ $T_p^{10)}$ を用いる。 T_p の値が大きいかほど漏洩量が少なく密封性能が良いことを示している。

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(3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



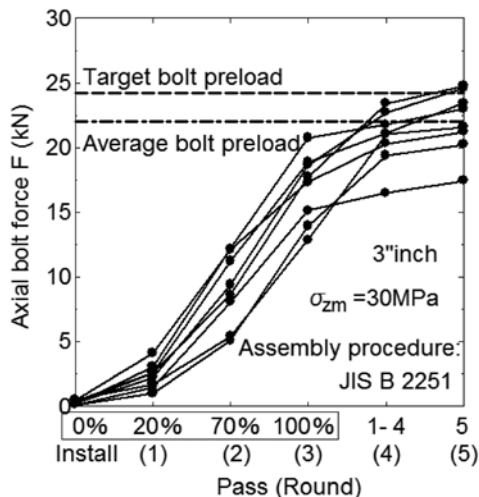
(b) ASME PCC-1⁷⁾による締付け

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)

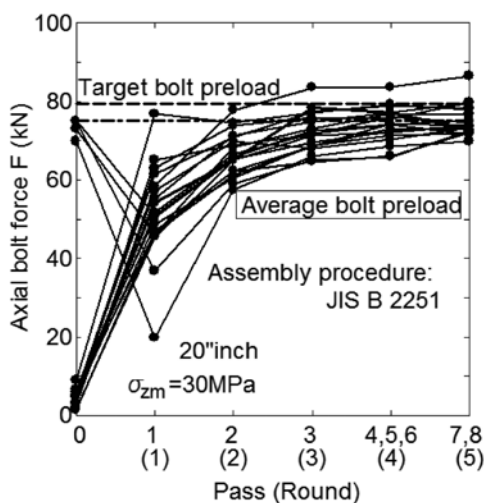
Pass6を4周目(Round4)とし、Pass6の結果のみを示している。同様に増締め(Pass7、Pass8)についても、Pass8の結果を5周目(Round5)として示す。図中の一点鎖線は締付完了時の全ボルト軸力の平均値(Average bolt preload)を示し、破線は目標ボルト軸力(Target bolt preload)を示す。2つの手順(JIS法およびASME法)とも、ボルト締付完了時の全ボルト軸力は、ばらつきが生じている。さらに締付完了時の全ボルトの平均ボルト軸力が目標ボルト軸力に達していないことが示されている。ボルト軸力の最大値と最小値の差は、JIS法では約40kN(25%)、ASME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

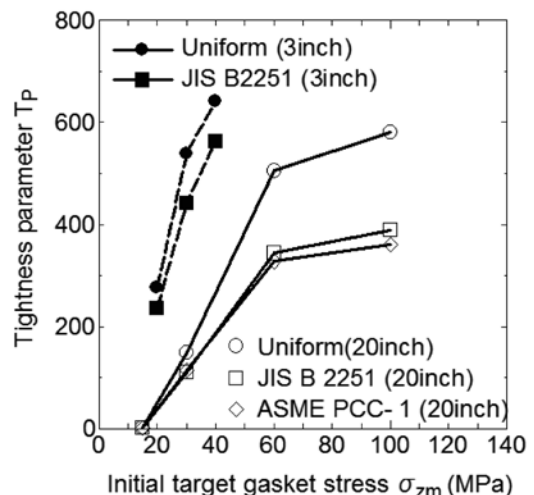


Figure10 初期ガスケット接触応力が小口径(3インチ)と大口径(20インチ)管フランジ締結体のタイトネスパラメータ T_p に及ぼす影響

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、

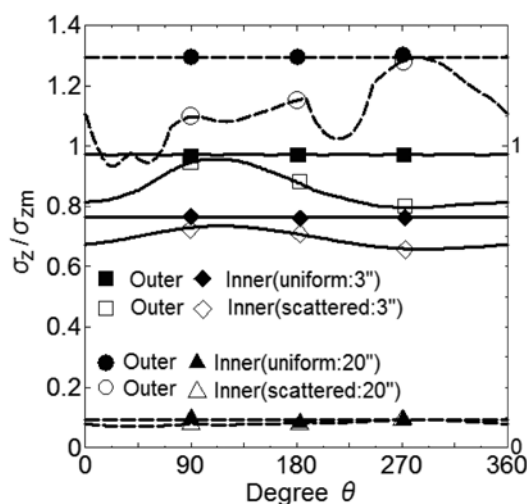


Figure11 内圧作用時の大口径(20")管フランジ締結体及び小口径(3")管フランジ締結体の円周方向ガスケット接触応力分布の比較

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_r の $1/\eta$ 倍し(F_r/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。

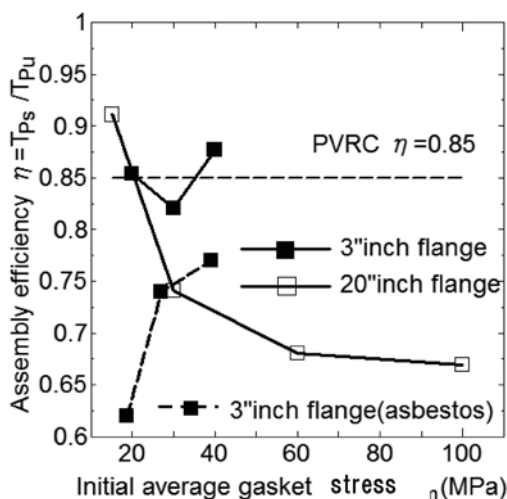


Figure 12 初期平均ガスケット接触応力が締付効率 η に及ぼす影響

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)に関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