

シール性に対する締付手順の影響

1. はじめに

ガスケット締結体では、片締めなどを防ぎ均等に締付けることを目的に、段階的に締付力を上げることが推奨されている。1回あたりの締付力を小さくし、締付回数を増やすと締付力の差を小さく出来るが、その反面締付けに多大な労力を要する。

JIS B 2251¹⁾、ASME PCC-1²⁾などで規格化されたもの、ユーザー毎に様々な締結方法がある。締付方法の違いによるボルト締付力を評価したデータ^{3、4)}はあるが、シール性を評価したものは少ない⁵⁾。

本報では締付方法の違いによるボルト軸力の挙動とシール性への影響を評価した。

2. 試験方法

2-1) 試験条件

今回の試験条件の一覧をTable1に示す。

試験ガスケットは膨張黒鉛をファイラ材としたうず巻形ガスケット(No.6596V)及びジョイントシートガスケット(No.6500)、寸法はJPI Class150 4inchとJPI Class300 24inchとした。全てのボルトにひずみゲージを貼り、ひずみ計を介してボルト軸力を読みとった。目標ガスケット面圧は、事前試験の結果からシール達成面圧(漏れ量 2.0×10^{-4} [Pa・m³/s・m]以下となる面圧)とした。

Table1 試験条件

試験ガスケット	うず巻形ガスケット No.6596V	
寸法	JPI Class150 4inch, t 4.5	JPI Class300 24inch, t 4.5
フランジ座の直径	φ157.2	φ692.2
ボルト	M16、8本	M39、24本
目標ガスケット面圧 ⁽¹⁾	20MPa	40MPa
試験ガスケット	ジョイントシートガスケット No.6500	
寸法	JPI Class150 4inch, t 1.5	JPI Class300 24inch, t 3.0
フランジ座の直径	φ157.2	φ692.2
ボルト	M16、8本	M39、24本
目標ガスケット面圧 ⁽¹⁾	35MPa	40MPa

注(1) 事前試験の結果からシール達成面圧を目標ガスケット面圧とした。

2-2) 試験装置

今回使用した試験装置をFigure1及びFigure2に示す。

管フランジにガスケットを組み込み、所定のガスケット面圧まで締結した時のボルト軸力やフランジ面間を測定した後、装置内に内圧を負荷して漏れ量の測定を行った。



Figure1 試験治具(JPI Class150 4inch)



Figure2 試験治具(JPI Class300 24inch)

2-3) 締付方法

締付方法はJIS B2251及びASME PCC-1、そして1回当りの締付量を少なくし締付回数を増やした方法(13段階)、その逆として1回当りの締付量を多くし締付回数を減らした方法(3段階)とした(Table2参照)。なお、締付けはボルト軸力を指標にして行った。

JPI Class300 24inchはボルト本数が24本であり、JIS B 2251での締付け時は、規定通り指定された締付けトルクの110%を目標締付けトルクとした。また、13段階締付けは対角締付け、円周締付けの2種類で実施した。

Table2 締付方法一覧

	3段階	JIS B 2251	ASME PCC-1	13段階 (対角締付け)	13段階 (円周締付け)
目標値までの締付段階	3段階	4段階	3段階	13段階	13段階
締付手順	対角締付け(Figure3) ・締付順は Table3参照	仮締付け：対角締付け (Figure5) ↓ 本締付け：円周締付け (Figure4)	対角締付け(Figure5) ・締付順は Table3参照 ↓ 円周締付け (Figure4)	対角締付け(Figure3) ・締付順は Table3参照	円周締付け (Figure4)
対象ボルト	全てのボルト	仮締付け： 全てのボルト (4inch) 4本(24inch) 本締付け： 全てのボルト (4inch、24inch)	全てのボルト	全てのボルト	全てのボルト
締付完了までの総段階数	3段階	4inch：9段階 24inch：11段階	8段階	13段階	13段階
JPI Class150 4inch	○	○	○	○	
JPI Class300 24inch	○	○	○	○	○
備考	—	24inchは目標トルクの 110%で締付け	円周締付け時はナットが回 転しなくなるまで締付けを続 ける	—	—

備考 締付けはボルト軸力を指標に実施。

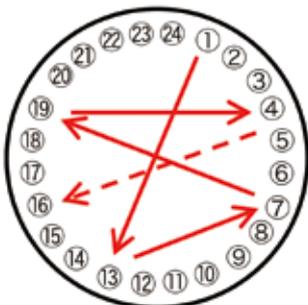


Figure3 対角締付けの締付方法

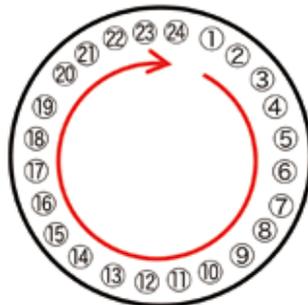


Figure4 円周締付けの締付方法

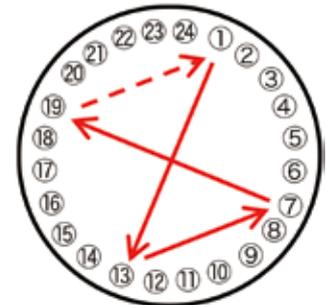


Figure5 JIS仮締付けの締付方法

Table3 対角締めボルト締付順

Sequence
①-⑬-⑦-⑰-⑲、④-⑯-⑩-⑳、②-⑭-⑧-⑳
⑤-⑰-⑪-㉓、③-⑮-⑨-㉑、⑥-⑱-⑫-㉔

Table4 シール性試験条件一覧

試験ガス	ヘリウムガス
内圧	2MPa
漏れ量の測定	圧力降下法
シール基準	2.0×10^{-4} [Pa・m ³ /s・m]以下

2-4) シール性試験条件

シール性試験条件の一覧をTable4に示す。

試験ガス、内圧はヘリウムガス、2MPaとし、漏れ量は圧力降下法によって測定した。なお、寸法による影響を除外するため、実測した漏れ量を接触外周長で割った単位長さ当たりの漏れ量として算出した。

3. 試験結果

3-1) ボルト軸力と分布

No.6596V及びNo.6500を目標ガスケット面圧まで締付けた時のボルト軸力と分布をFigure6及びFigure7に示す。

3段階ではJPI Class150 4inch及びJPI Class300 24inch

ともに、ボルト間の軸力差が大きく、最小値が目標軸力を大きく下回っているボルトが見られた。それ以外の締付方法については、JPI Class150 4inchでは締付方法によるボルト軸力に差は見られなかった。一方、JPI Class300 24inchでは3段階ほどではないが、締付方法によるボルト軸力の差が見られた。

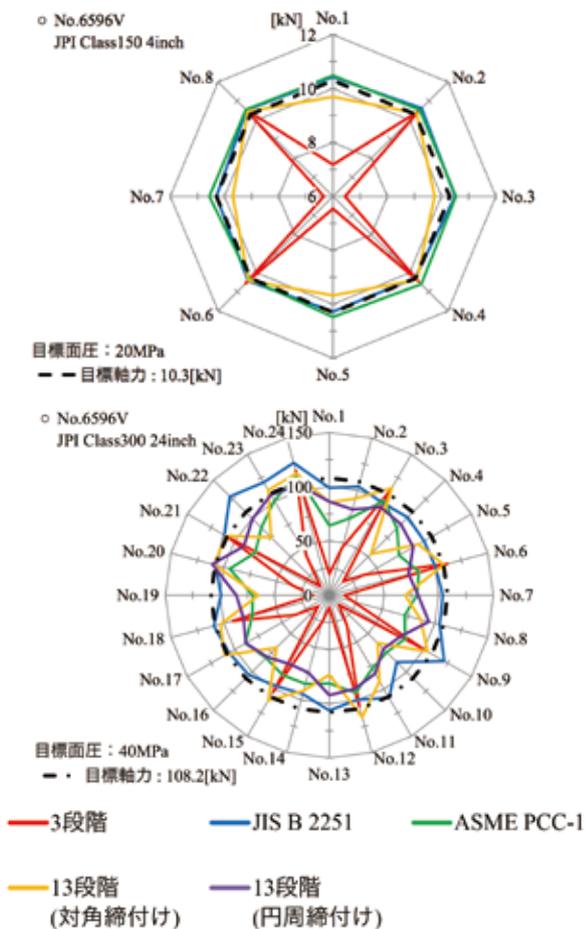


Figure6 ボルト軸力と分布 (No.6596V)

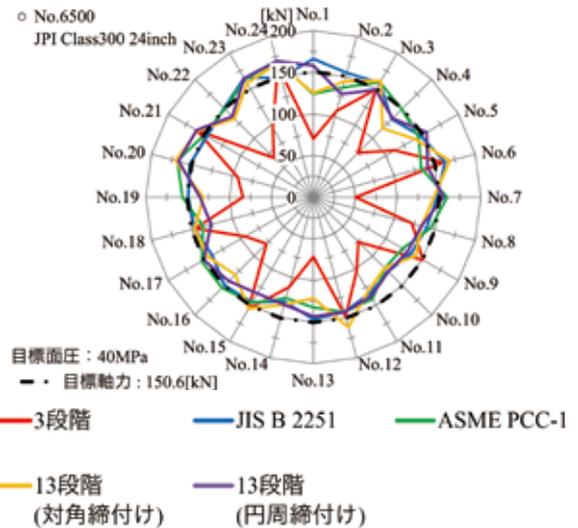
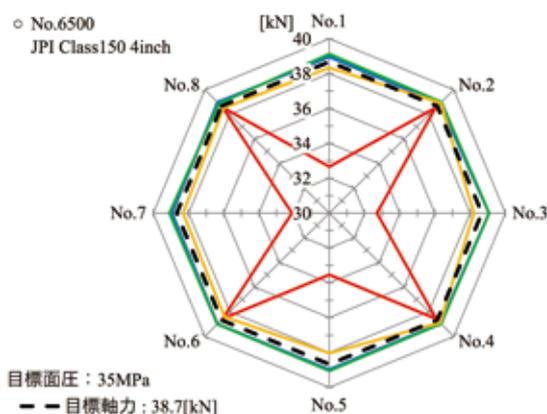


Figure7 ボルト軸力と分布 (No.6500)

3-2) シール性試験

No.6596V及びNo.6500のシール性試験結果をFigure8及びFigure9に示す。

No.6596V及びNo.6500ともに締付方法によって漏れ量の差が見られ、3段階はいずれも漏れ量がシール基準 ($2.0 \times 10^{-4} [\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}]$ 以下)を超えていた。それ以外の締付方法ではシール基準以下の漏れ量であった。JPI Class150 4inchでは締付方法によって漏れ量の差は見られなかったものの、JPI Class300 24inchではJIS B2251が最も漏れ量が少なく、続いてASME PCC-1、13段階 (対角締付け)、13段階 (円周締付け)の順で漏れ量は多くなった。JIS B2251では目標軸力の110%で締付けたことが漏れ量が少なかった要因と考えられる。また、13段階の対角締付けと円周締付けでの漏れ量は同程度であった。

ボルト軸力の①最大値、②最小値と漏れ量をまとめたものをFigure10及びFigure11に示す。

ボルト軸力の最大値は漏れ量への影響が少なかったが、最小値が小さいほど漏れ量が多くなる傾向が見られた。3段階ではボルト軸力の最小値がシール可能なガスケット面圧に到達出来ずに漏れ量が多くなったと考えられる。No.6596VとNo.6500を比較すると、No.6500よりもNo.6596Vの方がボルト軸力の最大値と最小値の差が大きかったが、漏れ量の挙動は同程度であった。

3-3) フランジ面間の変位量

No.6596V及びNo.6500を目標ガスケット面圧まで締付けた時のフランジ面間の最終変位量をFigure12及びFigure13に示す。

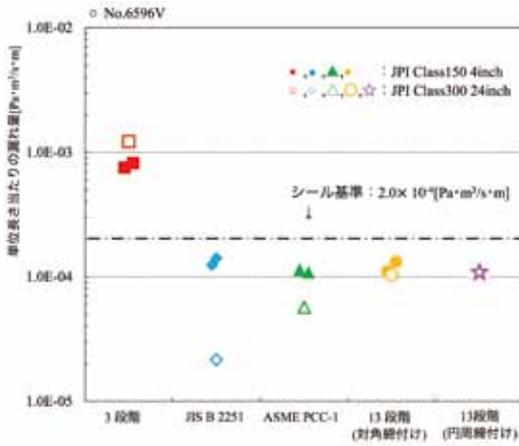


Figure8 シール性試験結果 (No.6596V)

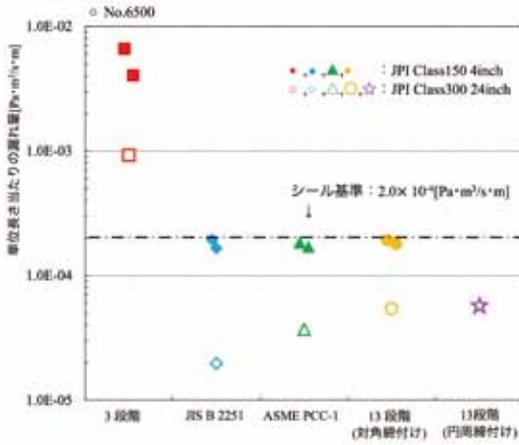


Figure9 シール性試験結果 (No.6500)

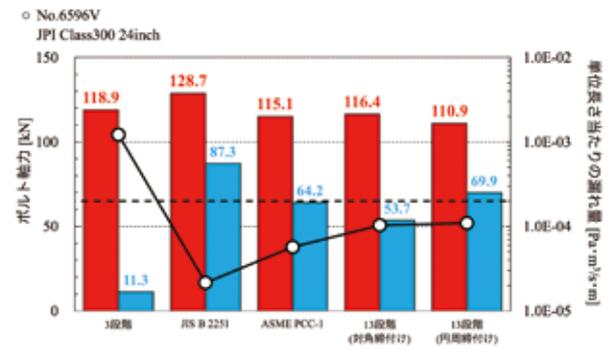
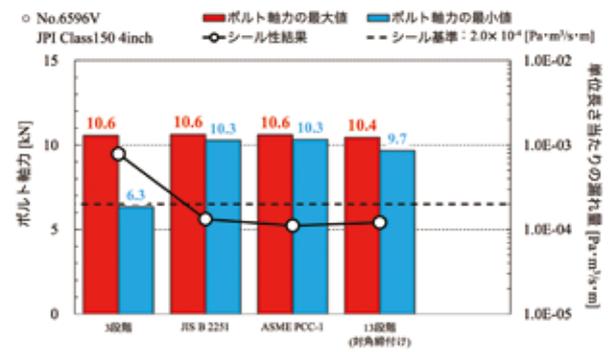


Figure10 ボルト軸力と漏れ量 (No.6596V)

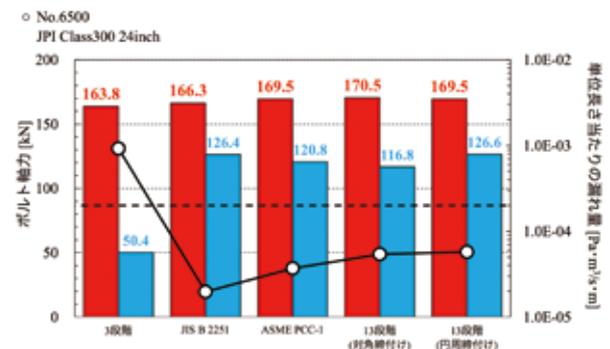
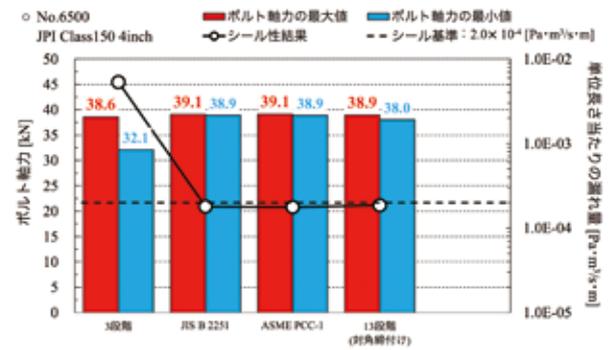


Figure11 ボルト軸力と漏れ量 (No.6500)

No.6596V及びNo.6500とも3段階は、他の締付方法と比べてフランジ面間の変位量が小さく、JPI Class150 4inchでは3段階以外の締付方法に差は見られなかったが、JPI Class300 24inchではJIS B2251が最も変位量が大きく、続いてASME PCC-1、13段階(対角締付け)、13段階(円周締付け)となり、シール性試験結果と相関関係が見られた。

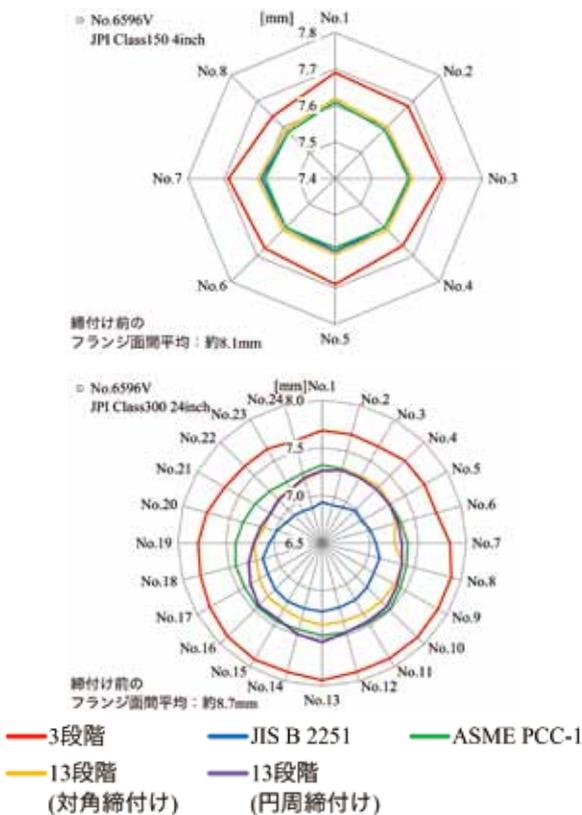


Figure12 フランジ面間の変位量 (No.6596V)

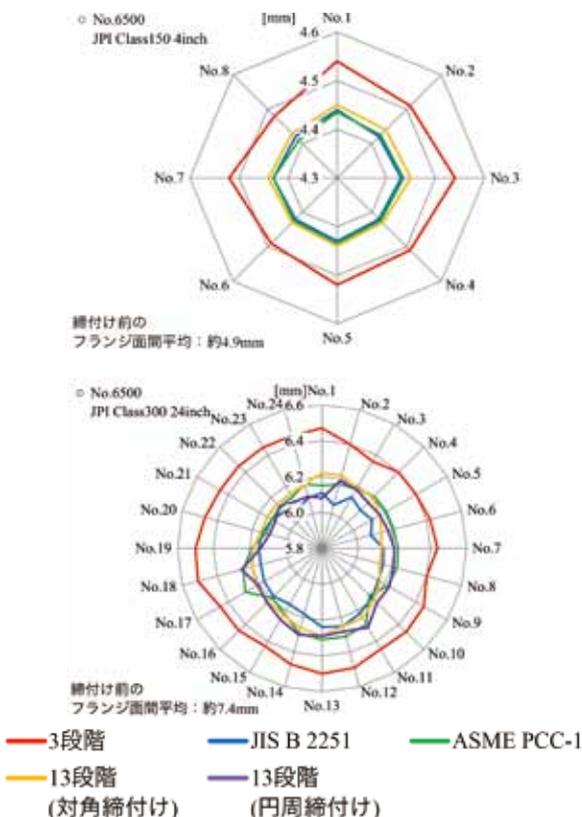


Figure13 フランジ面間の変位量 (No.6500)

3-4) レンチ移動距離

各締付方法でのレンチ移動距離を算出した結果をFigure 14に示す。算出方法はボルト間を最短距離で移動した場合ではなく、フランジに沿った周方向での移動量とした。

JPI Class150 4inchでは大きな差は見られなかったが、JPI Class300 24inchでは締付方法で差が見られ、JIS B2251や13段階(円周締付け)はシールも可能で効率も良いと言える。なお、JPI Class300 24inchでASME PCC-1は締付完了までの総段階数がJIS B2251よりも少ないにもかかわらず、レンチ移動距離が長かった。対角締付け時に締付けの対象となるボルト本数の差(JIS B2251では4本であるのに対し、ASME PCC-1は全てのボルト(24本))によるものと考えられる。

13段階で対角締付けと円周締付けで漏れ量や軸力はともに同程度であったが、レンチ移動距離に大きな差が出た。締付けにおいて、特に大口径では対角締付けよりも円周締付けは効率的な締付方法であると言える。ただし、今回は13段階での結果であるため、段階数を減らした際の影響は今後の課題である。

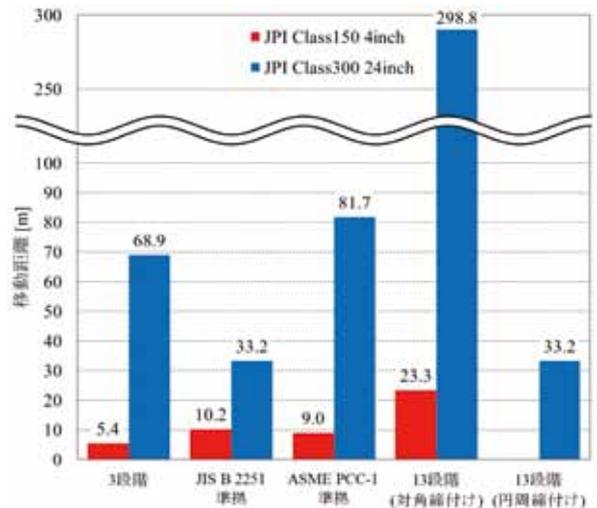


Figure14 レンチ移動距離

4. おわりに

今回の実験からJPI Class150 4inch及びJPI Class300 24inchの管フランジ締結体での締付方法の違いによるシール性の確認を行い、以下の結論が得られた。

○締付方法の違いにより、漏れ量に差が出る事が確認出来た。特に小口径より大口径の方が顕著であった。

- ボルト軸力の最小値が漏れ量に影響を及ぼすことが分かり、シール可能な面圧に達していない場合は漏れ量が多くなった。
- ボルト軸力の最小値を大きくするために、大きな力で締付けることや、より均等に締付けることが重要であると考えられる。
- JIS B2251 及び ASME PCC-1 などで規格化されている方法でボルト軸力を均一に締付けられることが確認出来た。また、13段階で対角締付けでも円周締付けでも漏れ量やボルト軸力の差は見られなかったものの作業効率は円周締付けの方が良かった。
- レンチの移動距離や漏れ量から JIS B2251 が最も効率的であると考えられる(ただし、24inch は目標軸力の 110% で締付けている)。

5. 参考文献

- 1) JIS B2251, フランジ継手締付け方法(2008)
- 2) ASME PCC-1, Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly (2013)
- 3) 渡邊芳和, 山口篤志, 金田忍, 辻祐一, “JIS フランジ継手締付け方法の適用範囲拡大(延伸 PTFE ガasket の締付けシミュレーション)”, 山梨講演会講演論文集, 152-153 (2009)
- 4) 高木知弘, “有限要素解析による管フランジ締結体の締付けおよび力学的特性の評価に関する研究”, 神戸商船大学博士論文(2013)
- 5) 大宮裕也, 高木愛夫, 澤俊行, 鳥居広康, “ボルト軸力のばらつきがガスケット付き大口径フランジ締結体の密封性能に及ぼす影響” 山梨講演会講演論文集, 160-161 (2010)



藤原 隆寛
研究開発本部
商品開発部



鄭 興
中国総合研究所
シールエンジ開発チーム



森本 吏一
三菱ケミカル株式会社
岡山事業所