

ASME PVP2016受賞論文の解説

1. はじめに

当社は、2016年に米国の機械学会であるASME (American Society of Mechanical Engineers)内のPVP (Pressure Vessels & Piping Conference: 圧力容器と配管に関する技術学会)へ大口径フランジ締結体の力学挙動に関する論文として、「内圧作用下における管付き大口径フランジ締結体の応力解析と密封性の評価」について投稿し発表した。

ASMEのPVPは12委員会に分かれて、毎年論文を発表する学会が開催され、10程度の論文が優秀賞に選出されており、当社の論文は委員会の一つである Computer Technology & Bolted Joints Technical Committeeから表彰を受けた。

Figure1に表彰式の様子、また、Figure2に優秀賞として授与された表彰状を示す。

本報ではその論文の内容について解説を行い、更に今後の基礎研究の展望について述べる。



Figure2 ASME PVP AWRD



Honors and Awards ChairのTrevor G. Seipp氏(左)から表彰を受ける様子

Figure1 表彰式の様子

2. 基礎研究への取り組み

当社では、シールエンジニアリング技術を核とし、顧客のプラント操業に伴う作業に合わせ、フランジ施工に関するサービスの開発と展開を行っている。

サービスの一つとして、フランジの大きさによりボルトの締付力などが違い、ボルトの締付に使用されるツールが異なる場合が考えられるが、当社は顧客の使用環境に合わせ最適なツール選定の提案を提供している。

このような提案が少しずつ市場に浸透していくと、大口径フランジの締付ではツールの選定だけでなく、最適な締付手順など施工要領に関するお問い合わせも頂くようになっていく。

しかし、大口径フランジの締付ではボルト本数が多く、ガスケットの密封性を担保するボルト軸力は隣接するボルトの締付に大きく影響される相互弾性作用というフランジ締付特有の現象が顕著に起こり、ガスケットの性能に依らず漏えいトラ

ブルが多いことが知られている。このため、最適なフランジ施工要領を提案するには、フランジ締結体に関する力学挙動を解明し、ボルト締結法を構築する基礎研究が必要となる。

そこで、当社は、Figure3に示すように規格最大寸法である24インチのフランジ締結体を作成し、有限要素法(FEM)応力解析を用いたシール性を予測する技術に関する研究を行い、その手法を確立し論文として発表した。

なお、有限要素法(FEM)応力解析とは構造体の変形挙動などを力学特性から計算し変化を予測する技術である。



Figure3 24インチフランジ締結体

3. 論文の解説

本論文では、有限要素法(FEM)応力解析に基づく解析により、フランジ締結体の密封性評価法及びボルト締付法を提案している。

まず、フランジ締結体の密封性は、ガスケットが圧縮された時に発生する内部応力により得られると考え、有限要素法(FEM)応力解析により、ボルトでガスケットを圧縮した後、フランジ締結体の内部に流体による圧力を負荷させたときの面圧を計算した。なお、使用するガスケットは膨張黒鉛フィラーうず巻形ガスケット及びジョイントシート(No.6596 V, No.6500)であり、解析コードはABAQUSを使用した。

Figure4が内圧(P)を負荷させたときのフランジ締結体のモデルである。

Figure5が有限要素モデルの要素分割状況で、フランジ締結体の対称性を考慮し、軸方向に1/2、周方向はボルト一本分のモデルとしている。

Figure6にうず巻形ガスケットの半径方向に対する軸方向の面圧分布を示す。横軸はガスケットの半径方向の位置をガスケット内径で除した無次元数である。また、今回の研究で

は、フランジは平行に締め付けられた場合を想定し、ガスケットの面圧は周方向には変化がほとんどなく、半径方向にのみ分布していることとした。

この図からフランジが大きくなるほどガスケットの外側で面圧が上がっていることがわかる。

これはボルトを締め付けた後流体による圧力を付加することで、フランジが外周側に変形するローテーションを発生させていることがわかる。

また、ガスケットの基本漏えい量をJIS B 2490により求めた。

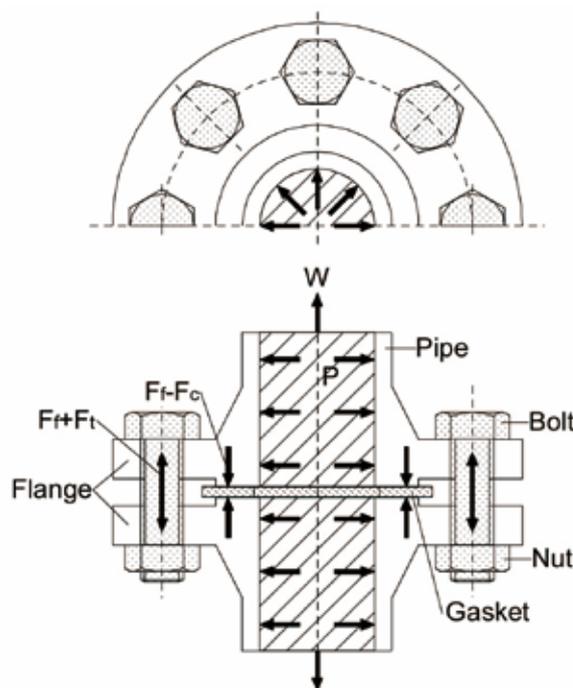


Figure4 フランジ締結体の解析モデル

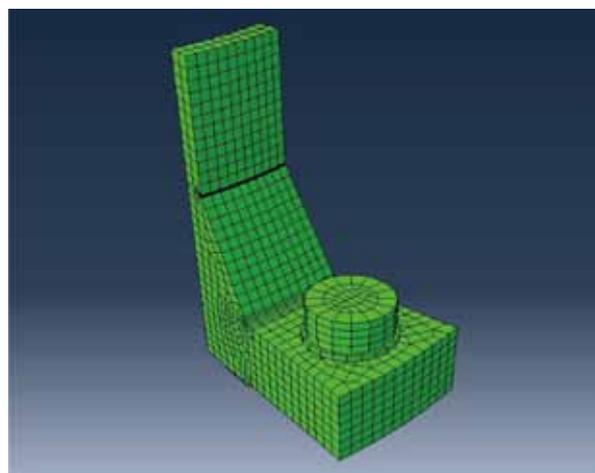


Figure5 有限要素モデル

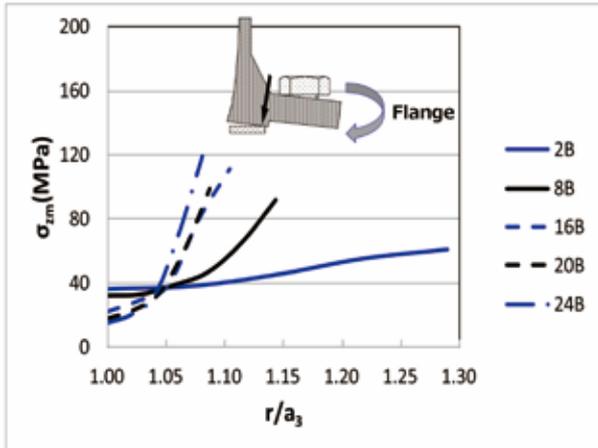


Figure6 うず巻形ガスケットの半径方向面圧分布

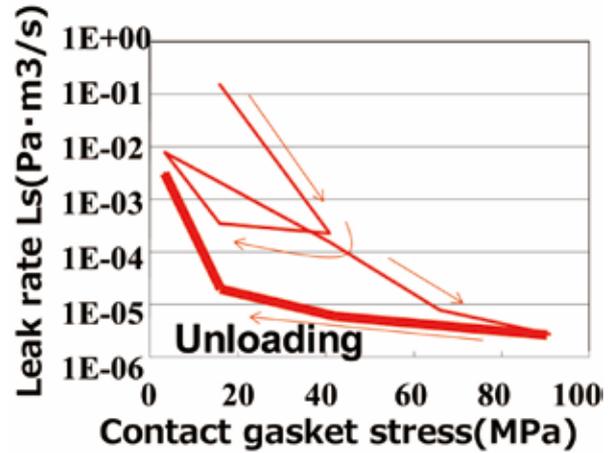


Figure8 うず巻形ガスケットの基本漏えい量測定結果

Figure 7はJIS B 2490の試験装置の概略を示している。

Figure 8はJIS B 2490の試験結果を示しており、ガスケットの基本漏えい特性は、太線で示した除荷時のガスケット面圧に対する漏えい量として求めた。

このガスケット基本漏えい量とFigure6のガスケットの面圧分布の平均値からフランジ締結体の漏えい量を算出した結果を実験により求めた漏えい量と比較を行った。

Figure9に実験結果と解析結果の比較を示す。

赤線がうず巻形ガスケット、青線がジョイントシートを示しており、どちらのガスケットもガスケットの面圧を上げると漏えい量が小さくなった。また、実験結果と解析結果はよく一致しており、解析方法の妥当性が確認された。

本解析方法によりフランジ締結体の漏えい量を予測することができると考えられる。また、ボルトの初期締付力を高く設計することは漏えい量の低減に効果的であることがわかる。

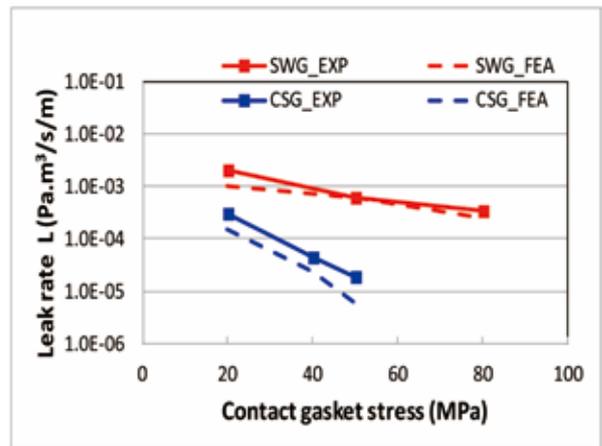


Figure9 実験結果と解析結果の比較

4. 今後の展望

現在当社が進めているフランジ施工要領の提案のサービスへ今回の成果の展開を検討している。

つまり、この基礎研究の技術を応用することで、顧客が問題と考えている施工要領を当社が評価、分析し、最適な施工方法の立案を行うことができると考えている。

また、今回の論文の受賞は、密封技術に関する研究が盛んな米国の学会で認められた研究となるため、当社ブランドの向上に貢献するだけでなく、当社の提供するフランジ締結体の評価方法や施工要領に妥当性を与えることになると考えている。本論文を発表した直後に米国の石油メジャー企業から大口径フランジの締結方法について問い合わせを受けており、このテーマへの高い関心が示されている。また、石油メジャーでも、大口径フランジの締結には問題を抱えてお

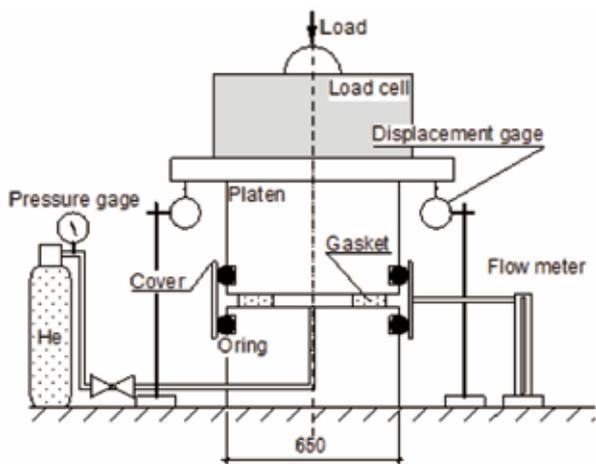


Figure7 JIS B 2490 試験装置概略

り、密封技術を持つ企業との連携を模索していることがわかる。本研究により当社技術基盤を構築することで、石油メジャーとの協業の可能性も考えられる。

5. おわりに

今回の研究では、フランジやボルトに傷やひずみがなく、ガスケットは均一に締めつけられているなど、理想的なフランジ締結体としてモデルを構築している。

しかし、現場ではそのような理想的なフランジの締付は不可能であり、少なからずガスケットの圧縮状態は不均一になっていると考えられる。今後はそのような不均一な締付状態がフランジ締結体の密封性に及ぼす影響を明らかにすることで、より現場の問題を解決する手法の確立を目指す。

また、実際の配管には熱負荷や外力が作用することが十分に考えられるため、そのような影響も考慮した研究を行いたいと考えている。



村松 晃
H&S事業本部