

管フランジ締結体の漏洩特性とガスケット接触応力の関係

Relationship between sealing performance and gasket contact stress of pipe flange connections

学 佐藤 広嗣 (神戸大・院) 正 高木 知弘 (神戸大・海科)

山中 幸 (日本バルカー) 正 福岡 俊道 (神戸大・海科)

Kouji SATOU, Kobe University, 5-5-1, Fukaeminami, Higashinada-ku, Kobe

Tomohiro TAKAKI, Kobe University

Yuki YAMANAKA, Nippon Valqua Industries, Ltd. 5-2, Technopark Nara, Sugawa, Gojo, Nara

Toshimichi FUKUOKA, Kobe University

Key Words: Pipe Flange connection, Sealing Performance, Gasket Contact Stress, FEM.

1. 緒言

今日の環境規制の強化に伴い、管フランジ締結体からの内部流体の漏洩量を精度良く予測し、漏洩量を設計変数とする新しい設計手順の確立が求められている。

ASME の PVRC は剛性の高い平坦な圧縮ジグを用いた ROTT 試験の結果からシール特性を予測する方法を推奨している。しかしながら、ROTT 試験と実際の管フランジ締結体では様々な条件の相違点がある。

本研究では管フランジ締結体の漏洩特性を有限要素解析と漏洩実験により評価し、漏洩特性に対して最も支配的な因子を特定することを目的としている。

2. 漏洩実験

窒素ガスを用いた漏洩実験を行う。

対象とするのは JPI class 4inch の一体型管フランジである。図 1 に実験で使用した管フランジの形状および各部寸法を示す。ボルトには M16 メートル並目ねじ、ガスケットには厚さ 1.5mm の石綿ジョイントシートガスケット (日本バルカー (株) 製) を用いている。また、フランジローテーションを比較的広い範囲で検討するために、フランジ厚さの異なる 3 種類のフランジと幅の異なる 3 種類のガスケットを用いている。ボルト軸力はボルト円筒部に貼り付けたひずみゲージにより測定する。初期締付け時のボルト軸力は呼びガスケット接触応力 S_g が 20, 30, 40, 50MPa となるように設定し、全てのボルト軸力が均一になるように締め付け作業を行う。フランジローテーション角度を測定するため、4 つの変位計を用いている。漏洩量の算出には圧力降下法を採用している⁽¹⁾。

3. 有限要素解析

汎用有限要素解析コード ABAQUS を用いて管フランジ締結体の有限要素解析を行う。

図 2 は使用した有限要素モデルと内圧作用時の境界条件を表している。管フランジはボルト穴を考慮しない軸対象体とし、ボルトは軸方向にのみ剛性を有する線形次元ばねとしてモデル化している。ガスケットは厚さ方向にのみ剛性を有する非線形次元ガスケット要素としてモデル化を行っている。ガスケットには圧縮試験に基づき同定した応力-ひずみ関係を特性として与えている。

初期締付け時のボルト軸力はボルトモデルの下端の節点に節点力を与えることによって生じさせている。内圧作用時にはフランジ内部およびフランジ座面に内圧を作用させている。また、内圧により生じる軸方向のスラスト力は管フランジ上端部に分布荷重として作用させている。

4. 結果と考察

図 3 はボルト締め付け時と内圧 $P=5\text{MPa}$ 作用時におけるフランジローテーション θ_f の実験結果と解析結果を示している。図

3 より、フランジローテーションはガスケット幅 w が大きいほど、またフランジ厚さ t が薄いほど大きくなっており、呼びガスケット応力 S_g の増加とともにその差が大きくなっている。また、解析結果と実験結果は良く一致しており、ここでを行っている有限要素解析の妥当性が確認できる。

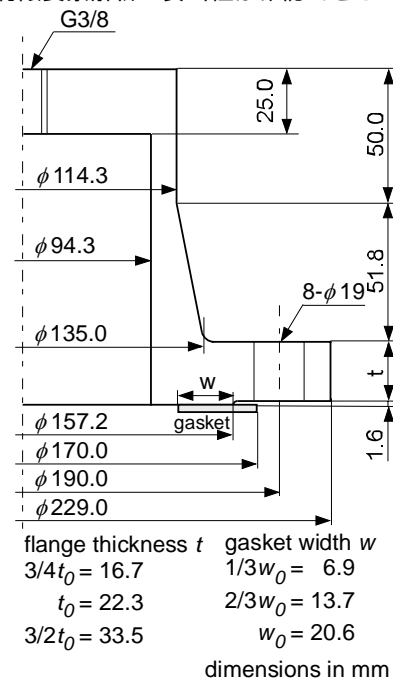


Fig.1 Dimensions of pipe flange

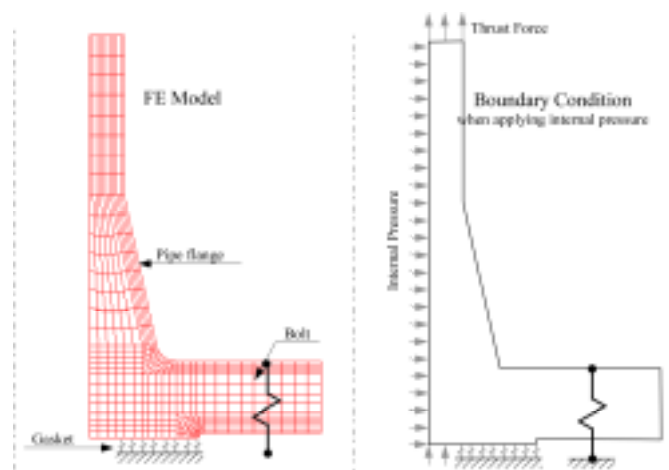


Fig.2 Finite element model and boundary condition

図4はガスケット座面外縁部単位長さ当たりの体積漏洩速度 L と、内圧が作用したときに残留している平均ガスケット接触応力 S_m との関係を示している。内圧 P は 1MPa と 5MPa で評価を行っている。Bazergui ら⁽²⁾の理想的な条件下での漏洩試験においては、 L と S_m が両対数上で線形関係を示すという結果が得られている。しかしながら、管フランジを用いた本実験では線形関係は得られなかった。

そこで、平均ガスケット接触応力 S_m の代わりに有限要素解析から得られる最大ガスケット接触応力 S_{max} を用いて漏洩量の整理を行う。また、より良い線形関係を得るために片対数を採用する。その結果を図5に示す。図4の結果と比べると線形性が強く、またガスケット幅とフランジ厚さが変化しても、内圧 P が同じ場合、全データが1つの直線で整理できることがわかる。

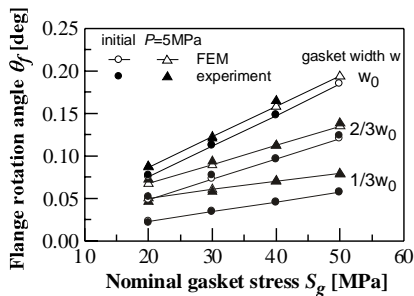
図6は図5の全ての結果をまとめたものである。各データの最小二乗近似の結果も示している。図より、内圧が同じ場合、ガスケット幅 w とフランジ厚さ t の影響を1本の線で示すことができることが確認できる。また、 $P=1$ MPa の近似式は 5MPa の近似式とほぼ同じ勾配になっている。

5. 結言

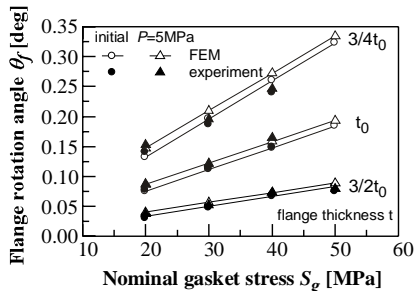
管フランジ締結体の漏洩特性を、有限要素解析と漏洩試験により評価した。その結果、管フランジ締結体からの内部流体の漏洩速度は内圧作用時に残留するガスケット座面外縁部における最大ガスケット接触応力に依存することを示した。

参考文献

- (1) John H. Bickfort : Gasket and Gasketed Joints, 1997, P137
- (2) Bazergui, A., and Payne, J. R., Progress in Gasket Testing-Milestone Results, ASME J. Pressure Vessel Technol., 106(1984), 93-103.

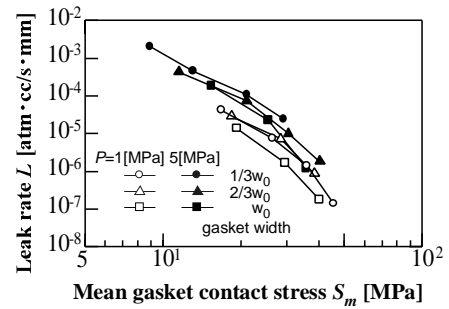


(a) Effects of gasket width w ($t=t_0$)

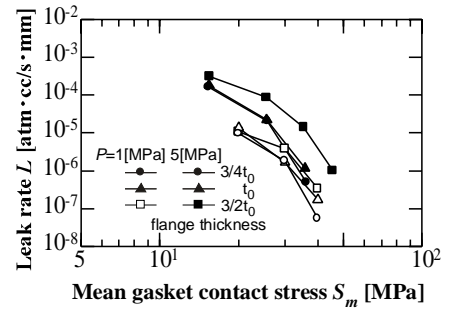


(b) Effects of flange thickness t ($w=w_0$)

Fig.3 Flange rotation angle

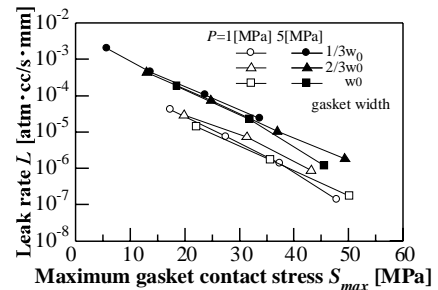


(a) Effects of gasket width w ($t=t_0$)

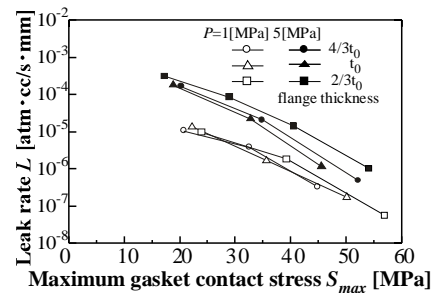


(b) Effects of flange thickness t ($w=w_0$)

Fig.4 Relationship between leakrate L and mean gasket contact stress S_m



(a) Effects of gasket width w ($t=t_0$)



(b) Effects of flange thickness t ($w=w_0$)

Fig.5 Relationship between leakrate L and mean gasket contact stress S_{max}

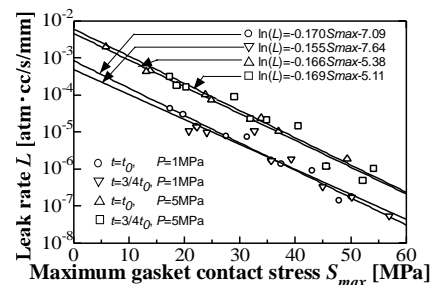


Fig.6 Relationship between leakrate L and mean gasket contact stress S_{max}