

PTFE ガasketの粘弾塑性特性と ガスケット締結体の有限要素シミュレーション

京都工芸繊維大学 ○尾崎拓也, 高木知弘

日本バルカー工業(株) 佐藤広嗣

Visco-Elastic-Plastic behaviors of PTFE gasket and Finite Element Simulations of Gasket Connections

Takuya OZAKI, Tomohiro TAKAKI and Kouji SATOU

1 緒 言

石綿ガスケットの代替として PTFE ガスケットがその耐薬品性や耐熱性から広く用いられている¹⁾。しかしながら PTFE ガスケットは粘性特性が顕著であり、ガスケット材の特性としては好ましくない。この純 PTFE ガスケットの粘性特性を改善するために、充填材を配合したガスケットが開発されているが、実機レベルでの性能評価は行なわれていないようである。よって本研究では、充填材入り PTFE ガスケットの性能評価を純 PTFE ガスケットと比較をすることで行なう。まず、ガスケットの粘弾塑性特性を単軸圧縮試験により評価する。つぎに、著者らのグループの構築した FEM^{2), 3)}により、ガスケット締結体の時間経過に伴うボルト軸力変化、および接触応力変化の特性評価を行なう。

2 ガスケット粘弾塑性特性

ガスケットの粘弾塑性特性は、Fig.1のような圧縮試験機を用いて試験する。ガスケットは厚さ3mm、内径22mm、外形58mmの寸法のものを用いる。このガスケットを圧縮ジグの間に挿入し、油圧ポンプを用いて圧縮力をガスケットに負荷する。そして、ガスケットの周囲に配置した4つの変位計によりガスケットの厚さ方向の変位を測定する。

2.1 応力-ひずみ関係 ガスケットの応力-ひずみ関係を圧縮試験により測定する。試験はガスケットの接触応力が0MPaから100MPaまで、10MPaごとに負荷と除荷とを繰り返し行なう。Fig.2(a)は充填材入りガスケットの応力-ひずみ関係である。ひずみは圧縮方向を正として

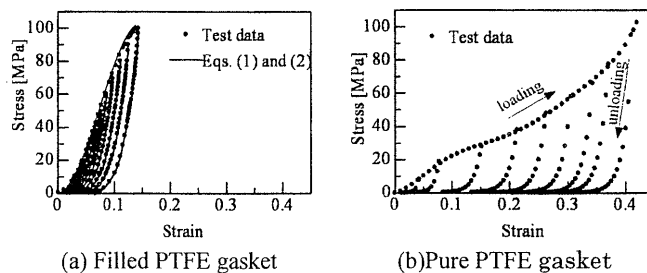


Fig.2 Stress-strain curves

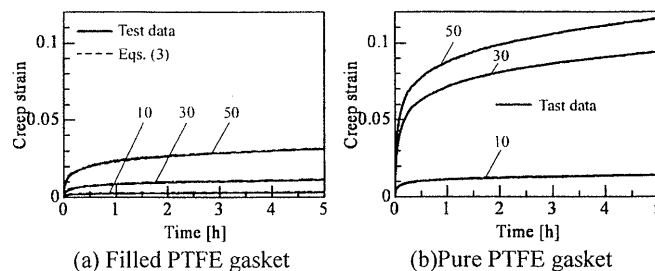


Fig.3 Creep curves

いる。強い非線形性を示し、負荷と除荷とで異なった曲線を描く。Fig.2(b)は純 PTFE ガスケットの応力-ひずみ関係である。両者を比較すると、負荷時の応力-ひずみ曲線の勾配は大きく異なるが、除荷曲線は比較的近い勾配となっている。

2.2 クリープ特性 ガスケットのクリープ特性を求める。実験はガスケットに一定接触応力、10, 30, 50MPaを負荷し、5時間の間に生じるクリープひずみを測定する。Fig.3(a), (b)は、それぞれ、充填材入りガスケット、純 PTFE ガスケットの実験結果である。クリープひずみは、応力負荷直後に大きく増加し、その後、増加量は緩やかになる。(a), (b)を比較すると充填材入りガスケットの粘性特性は大きく改善されていることがわかる。

3 ガスケット締結体の有限要素シミュレーション

3.1 有限要素モデル及び解析手法 ガスケット締結体のボルト締付けとその後の外力を作用させずガスケットの粘性特性のみを考える使用状態の有限要素シミュレーションを行なう。対象とするのは JPI 150 lb 4 inch 一体型管フランジであり、8本のボルト(M16)で締付けを行なう構造となっている。Fig.4に有限要素モデルと境界条件を示す。軸対称四節点アイソパラメトリック要素を用いる。シミュレーションはボルトの締付け過程と使用時の

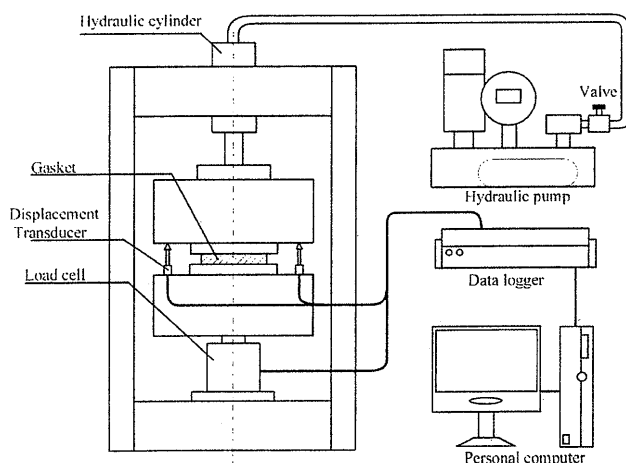


Fig.1 Compression tester

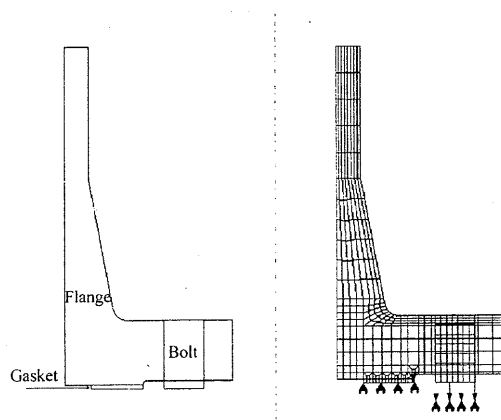


Fig.4 Finite element model and boundary conditions

二段階で構成される。締付け過程は、ボルト対称面に段階的に強制変位を荷重し増分解析を行うことで再現する。ガスケットのヤング率は Fig.2(a)の破線で示している以下の同定式を用いて決定する。

負荷時：

$$\sigma = 209.5\varepsilon - 43.8 \times 10^2 \varepsilon^2 + 46.0 \times 10^4 \varepsilon^3 - 66.0 \times 10^5 \varepsilon^4 + 38.0 \times 10^6 \varepsilon^5 - 81.8 \times 10^6 \varepsilon^6 \quad (1)$$

除荷時：

$$\sigma = \alpha \exp(\beta \varepsilon) + \gamma \quad (2)$$

$$\alpha = \sigma_1 / (\exp(\beta \varepsilon_1) + \exp(\beta \varepsilon_2))$$

$$\beta = \exp(2.78 - 4.45 \cdot \ln \varepsilon_1) \quad \gamma = -\alpha \exp(\beta \varepsilon_2)$$

$$\varepsilon_2 = 27.6 \times 10^{-3} \exp(8.65 \varepsilon_y) - 27.1 \times 10^{-3}$$

ここで、 σ_1, ε_1 はそれぞれ除荷開始時の応力、ひずみである。使用時は、ボルト対称面の変位を拘束し、増分時間間隔に生じるクリープひずみを初期ひずみ増分として与え増分解析を行うことで再現する³⁾。クリープひずみは Fig.3(a)の破線で示している以下の同定式を用いて決定する。

$$\varepsilon_{z0} = At^n \quad (3)$$

$$A = 86.0 \times 10^{-5} - 22.4 \times 10^{-5} \sigma_1 + 18.8 \times 10^{-7} \sigma_1^2$$

$$n = 89.1 \times 10^{-3} - 62.0 \times 10^{-4} \sigma_1 + 14.1 \times 10^{-5} \sigma_1^2 + 11.8 \times 10^{-7} \sigma_1^3$$

3.2 ボルト軸力変化 Fig.5 は充填材入りガスケットを用いた締結体のボルト軸力時間変化のシミュレーション結果と実験結果である。シミュレーション、実験共に、ボルトの初期締付け力はガスケットの接触応力が 20, 30, 40MPa となるように設定し、使用時の時間は 5 時間としている。シミュレーション結果は実験結果をよく再現しており、予測手法の妥当性を確認できる。ボルト軸力は締付け完了後の約 1 時間の間に大きく低下し、その後低下量は緩やかになっている。また初期締付け力が大きいほどボルト軸力低下量も大きくなる。充填材入り PTFE ガスケットと純 PTFE ガスケットの 5 時間経過後のボルト軸力低下量(実験値)を比較すると、前者は後者の 18.9%(10MPa), 27.5%(30MPa), 47.1%(50MPa)程度となっており、ボルト軸力変化特性が大きく改善されていることがわかる。

3.3 ガスケット接触応力 Fig.6 は充填材入りガスケット

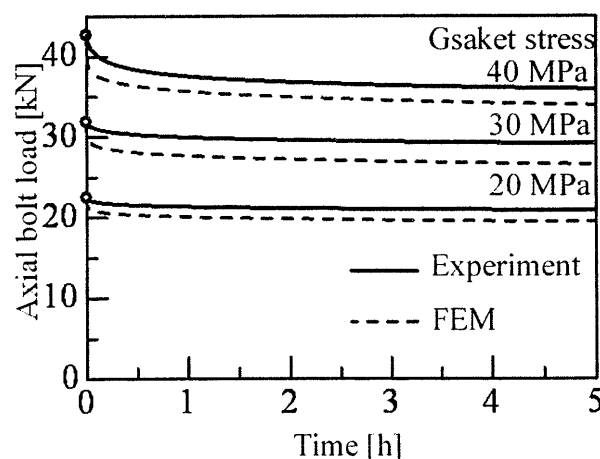


Fig.5 Time variations of axial bolt load

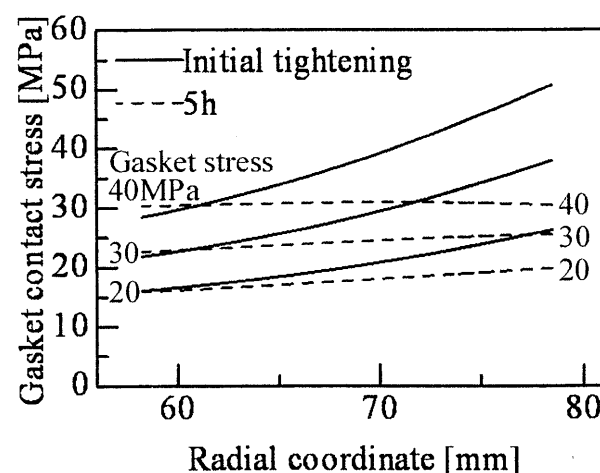


Fig.6 Variations of gasket contact stress in radial direction

トの接触応力の半径方向分布の解析結果を示している。締付け完了時では、接触応力はフランジローテーションにより、ガスケット外延部ほど高い値を示している。5 時間経過後では、接触応力はほぼ一様に分布している。これはガスケットのクリープ特性の傾向が影響していると考えられる。

結言

充填材入り PTFE ガスケットの実機レベルでの性能評価を目的として研究を行い以下の結論を得た。

1. 充填材入り PTFE ガスケットのクリープおよびボルト軸力低下特性は、純 PTFE ガスケットに比べ大きく改善されていることを示した。
2. ガスケット接触応力をシミュレーションより求め、5 時間経過後には、接触応力は一様化する傾向にあることを示した。

参考文献

- 1) 江島悟, 配管技術, 51, 10, (2009)
- 2) 高木知弘, 名護典寛, 佐藤広嗣, 山中幸, 機論 C, 73, 728, (2007).
- 3) 名護典寛, 高木知弘, 佐藤広嗣, 圧力技術, 45-4, (2007).