

圧力容器のボルト締付けシミュレーション

Bolting up simulations of pressure vessels

正 高木 知弘 (神戸大・海科)

正 福岡 俊道 (神戸大・海科)

Tomohiro TAKAKI, Faculty of Maritime Sciences, Kobe University, Kobe
Toshimichi FUKUOKA, Faculty of Maritime Sciences, Kobe University, Kobe

Key Words : Pressure Vessel, Noncircular Flange, Bolt Assembly Process, FEM

1 緒言

管フランジ締結体に代表される圧力容器は、フランジ継手を用い多数のボルトで締結されることが多い。これらは通常、同心円上にボルトを配置した円形フランジである。しかしながら、使用される場所および条件によっては非円形の圧力容器もしばしば使用されている⁽¹⁾。

本研究では、圧力容器の非円形フランジ形状がボルトの締付け特性におよぼす影響を、有限要素法により評価することを目的としている。

2 解析方法

有限要素解析手法としては、著者らが提案した管フランジ締結体のボルト締付け過程を再現することのできる手法を適用する⁽²⁾。

図1に基本とする円形フランジの寸法を示している。これらの寸法は、JPI規格(JPI-7S-15-1999)に規定されている class 300lb 6inch フランジを基にしている。フランジは中心部に空孔を有する円盤状とし、M20のボルト12本で締付けを行う。図1の寸法を基に、図2に示す4種類の有限要素モデルを作成した。Model Aは円形フランジ、Model BとCは楕円形フランジ、Model Dは正方形フランジである。図2中左側の図は、ガスケット座面の寸法を示している。Model BとCの楕円形フランジは、ガスケット座面内径側の長径と短径の比、長径/短径がそれぞれ1.5と2.0である。いずれのモデルも、ガスケット座面接触面積とガスケット幅 $w=24.65\text{mm}$ (Model BとCでは短径部と長径部において) が等しくなるように各部寸法を決定している。また、ガスケット座面外端部からボルト中心部までの距離とフランジ外端部までの距離も等しくなるようにし、できる限り形状の影響のみ考察できるようなモデリングとしている。

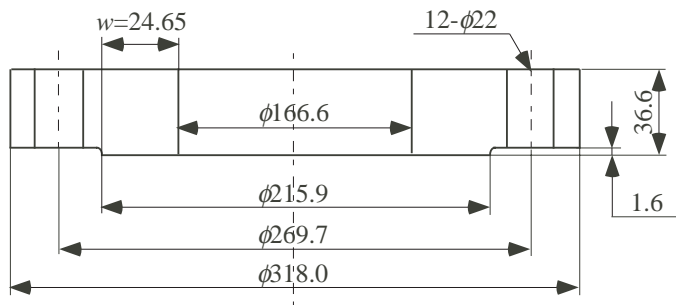


Fig. 1 Dimensions of basic circular flange

図2から分かるように、ボルト穴は考慮せず、ボルトは一次元ばね要素としてモデル化している。ボルトモデルのばね定数は、 1649.1kN/mm としている(長さ 38.1mm 、断面積 314.2mm^2 、ヤング率 200GPa)。ガスケットは厚さ 3mm のジョイントシートガスケットを想定し、一次元ばねモデルの集合としてモデル化している。負荷側のヤング率を 500MPa 、除荷側のヤング率を 5GPa としている。フランジは線形弾性体とし、ヤング率 200GPa 、ポアソン比 0.3 と仮定している。

図3はボルトの位置と時計回りの締付け順序に対応す

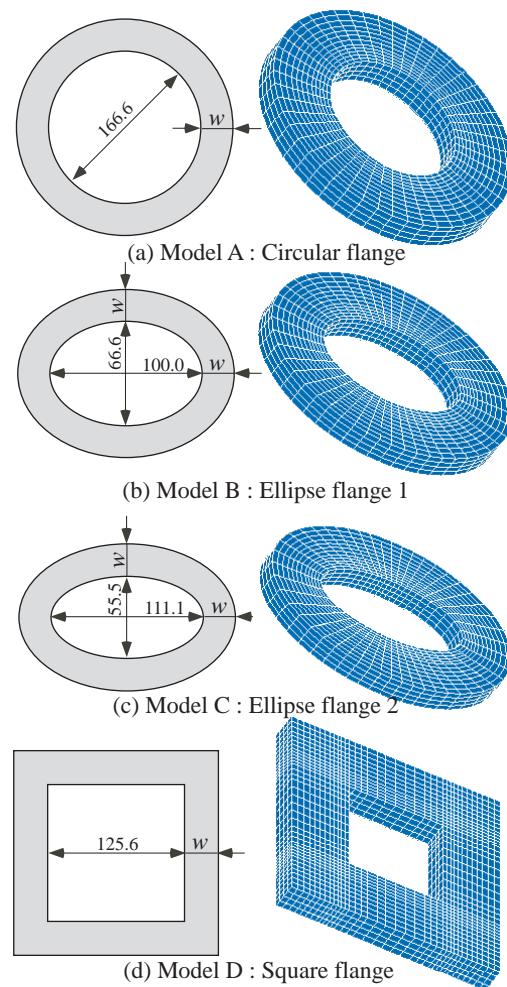


Fig. 2 Dimensions of flanges and FE models

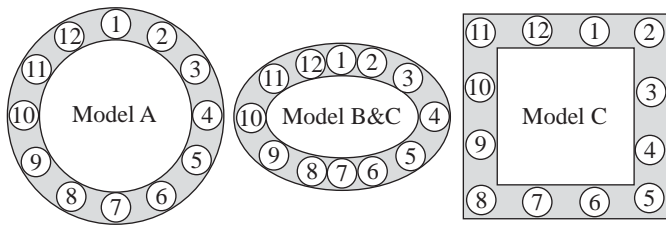


Fig. 3 Bolt number and location

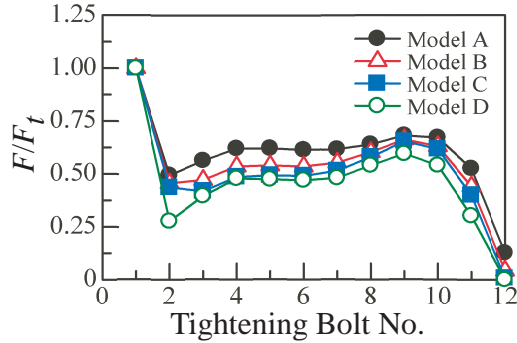


Fig. 4 Variations of bolt load of bolt 1

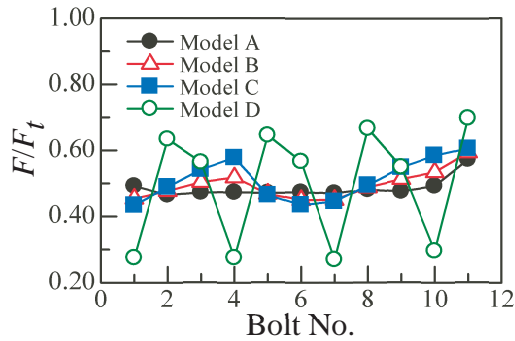


Fig. 5 Resulting bolt loads when tightening adjacent bolt

るボルト番号を示している。Model BとCの楕円形フランジでは2本の隣合うボルトと楕円中心の角度を30度一定とし、Model Dの正方形フランジではボルト間の間隔を等しくしている。ボルトの締付け軸力は、ガスケット座面の平均面圧値が30MPaとなるように37.0kNとしている。ボルト締付け順序は図3に示す時計回りとする。

3 解析結果

図4はボルト締付け過程において、横軸のボルトを締付けたときのbolt 1の軸力変化を示している。縦軸はbolt 1の軸力 F を所定の軸力 F_t で除して無次元化して示している。両隣のbolt 2とbolt 12およびbolt 11を締付けたとき軸力が低下しており、それ以外のボルトを締付けた場合はフランジの口開き変形によりわずかに軸力が増加している。この傾向はいずれのモデルにおいても同様に見られる。

図5は隣のボルトが締付けられた時、横軸に示すボルトに残留している軸力を示している。例えば横軸のbolt 1の場合は、bolt 2を締付けた時のbolt 1の軸力である。

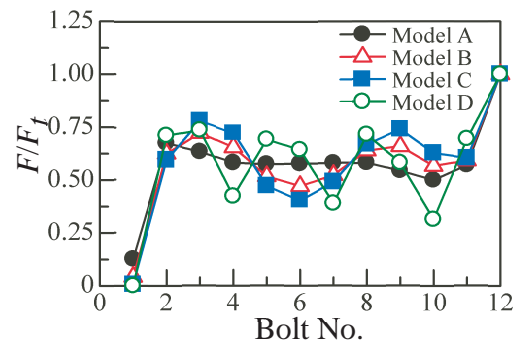


Fig. 6 Bolt loads at the end of one pass operation

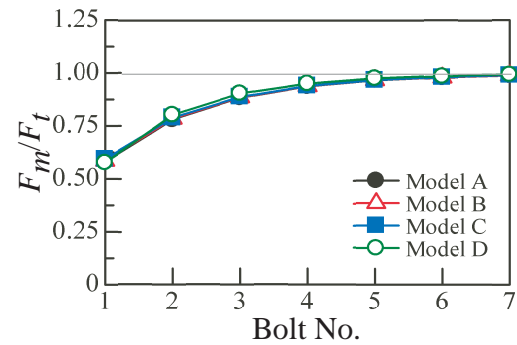


Fig. 7 Variations of mean bolt load

Model Aの円形フランジの場合、形状が周方向に周期的であるため、値はほぼ一定となっている。Model BとModel Cの楕円形フランジの場合、bolt 1, 2, 5, 6, 7の軸力が小さくなっており、短径部のボルト軸力の低下量が大きくなるのが分かる。Model Dの正方形フランジでは、bolt 1, 4, 7, 10の軸力が小さくなっており、4つの角に位置するボルトを締付けた時、その隣に位置するボルトの軸力低下が大きくなるのがわかる。これは、辺の部分よりも角の部分の方が変形剛性が低いためである。

図6は締付け作業完了時に各ボルトに残留しているボルト軸力の分布を示している。いずれのモデルにおいても、bolt 1の軸力が小さく、bolt 12の軸力が高いという傾向は同じであるが、それ以外のボルト軸力の分布には若干の違いが見られる。楕円形フランジの場合bolt 5, 6, 7の軸力が小さくなっており、正方形フランジの場合bolt 4, 7, 10の軸力が小さくなっている。最終的な軸力が小さいボルトは、図5に示す隣のボルトを締付けた時に軸力の低下が著しいボルトであることが分かる。

図7は締付け作業を7周繰返し行った時、各作業完了時に残留している軸力の平均値 F_m の変化を示している。フランジ形状の違いにより、図4から図6に示すようなボルト軸力変化に違いが確認されるが、平均軸力はほぼ同様に変化していることが分かる。

参考文献

- (1) Bickford, J. H., Gaskets and Gasketed Joints, (1998), 487 - 505.
- (2) 福岡俊道, 高木知弘, 有限要素解析による管フランジ締結体のボルト締付け過程の評価(うず巻形ガスケットを用いた場合), 機論, 66-650, A (2000), 1834-1840.