

# 規格フランジのボルト締付け特性

## Bolting up performance of standard pipe flanges

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 : Pipe Flange, Bolting Up Performance, FEM

### 1 緒言

管フランジ締結体のボルト締付け過程においては、各ボルトの相互作用によりボルト軸力が低下することが知られている。この軸力低下を補うため、通常の締付け作業は複数の周回により完了する。しかしながら、ある精度を満足するためには何周の締付け作業を行う必要があるのか、明確な値は示されていない。

本研究では、石油学会規格 (JPI-7S-15-1999) に定められている管フランジを対象に、体系的なボルト締付け有限要素シミュレーションを行い、必要なボルト締付け作業周回数を評価することを目的としている。締付け作業手順としては、最近提案された2つの手順を用いる。

### 2 ボルト締付け手順

最近 ASME では、ボルト締付け指針が規格化されている<sup>(1)</sup>。しかしながら、この ASME の指針は、手順が煩雑、多くの労力を要する、作業回数が不明確等の欠点がある。このため、著者らは有限要素法を用いた評価により、これらの欠点を克服した新しい作業指針を提案した<sup>(2)</sup>。表 1 に ASME の締付け手順、表 2 に著者らが提案した手順 (JAPAN) の概要を示す。

Table 1 ASME bolting up guideline

Round	方法	順序
Install	手で軽く締付け、その後スナグトルクで締付ける。	対角
Round 1	目標締付けトルクの 20 - 30% で締付ける。	対角
Round 2	目標締付けトルクの 50 - 70% で締付ける。	対角
Round 3	目標締付けトルクの 100% で締付ける。	対角
Round 4	目標締付けトルクの 100% でナットが回転しなくなるまで締め続ける。	時計

Table 2 JAPAN bolting up guideline

Round	方法	順序
Install 1	90 度離れて位置する 4 本のボルトを目標の軸力に均一に締付ける。	時計
Install 2	目標締付けトルクの約 50% で締付ける。	時計
Assembly	目標締付けトルクの 100% で前もって決定しておいた回数の締付け作業を行う。	時計

### 3 解析モデル

著者らが提案した解析手法を用い、管フランジ締結体のボルト締付け有限要素シミュレーションを行う<sup>(3)</sup>。石油学会規格 (JPI-7-S-15-1999) に定められているスリップオン形管フランジを解析の対象とする。呼び圧力は class 150, 300, 400, 600, 900, 1500 lb とし、8 本以上の

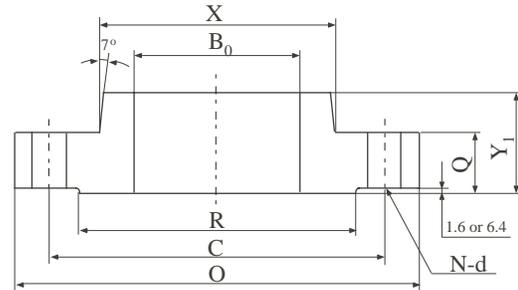


Fig. 1 Dimensions entered to make the finite element model

ボルトで締付けられる管フランジを対象としている。解析対象が非常に多いため、図 1 に示す各部寸法を入力し自動的に有限要素モデルを作成するソフトを作成した。class 1500 lb の管フランジは、3 inch 以上の呼び径に対してスリップオン形が規定されておらず、図 1 中の  $B_0$  と  $Y_1$  の寸法が与えられていない。class 1500 lb の  $B_0$  に関しては 900 lb と同じ値を使用し、 $Y_1$  は 900 lb の  $Y_1-Q$  を 1500 lb の  $Q$  に足した値を用いている。厚さ 4.5mm のうず巻形ガスケットの使用を想定し、ガスケットの内外径は JPI-7S-41-1990 に従っている。また、class 150 lb と 300 lb の管フランジに関しては、厚さ 3 mm のジョイントシートガスケットを用いる場合も評価する。この場合、ガスケット内径は JPI-7S-16-1985 に従っている。管フランジは様々な配管要素等を結合する用途に用いられるため、その拘束条件も様々である。ここでは、管部を無視したモデルを採用することにより、最も弾性相互作用の強い条件の下で解析を行う。図 2 は使用した有限要素モデルの一例 (class 600 lb 12 inch) を示している。ボルトはナットとボルトを一体としたボルト頭部と類似の

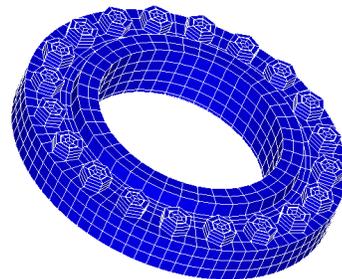


Fig. 2 Finitet element model (class 600 lb 12 inch)

**Table 3** The number of bolt-up passes in Round 4 needed to get the bolting efficiency of 80, 85 and 90% when applying ASME PCC-1 procedure

80%								
NP	150j	300j	150s	300s	400s	600s	900s	1500s
2	-	1	-	3	-	3	-	4
2.5	-	1	-	3	-	3	-	4
3	-	1	-	2	-	2	2	3
4	0	1	1	1	1	1	2	2
6	0	1	0	2	2	2	3	3
8	0	1	0	2	2	2	3	3
10	1	2	1	3	2	3	3	2
12	1	2	1	3	2	3	4	3
14	1	3	1	4	4	4	4	4
16	1	3	2	4	3	3	3	3
18	1	3	1	4	3	3	3	3
20	1	3	2	4	4	3	3	3
24	1	3	2	4	4	3	3	3
85%								
NP	150j	300j	150s	300s	400s	600s	900s	1500s
2	-	2	-	4	-	4	-	5
2.5	-	2	-	4	-	4	-	5
3	-	1	-	3	-	3	3	4
4	1	1	1	2	2	2	2	3
6	0	2	0	3	3	3	3	4
8	0	1	0	2	2	3	3	4
10	1	2	1	4	3	4	4	3
12	1	2	1	3	3	4	5	4
14	1	4	1	5	5	5	5	5
16	2	4	2	5	4	4	4	4
18	1	4	1	5	4	4	4	4
20	2	4	2	5	5	4	4	4
24	2	4	2	5	5	4	4	3
90%								
NP	150j	300j	150s	300s	400s	600s	900s	1500s
2	-	2	-	5	-	5	-	6
2.5	-	2	-	5	-	5	-	7
3	-	1	-	4	-	4	4	5
4	1	1	2	3	2	3	3	4
6	0	2	1	4	3	4	4	5
8	0	2	1	3	3	3	4	5
10	1	3	2	5	4	5	6	4
12	1	3	2	5	4	6	6	6
14	2	5	2	7	6	6	6	6
16	3	5	3	6	5	6	6	5
18	2	5	2	6	5	5	5	5
20	3	5	3	6	6	6	5	5
24	3	5	3	6	6	6	5	5

**Table 4** The number of bolt-up passes needed to get the bolting efficiency of 80, 85 and 90% when applying JAPAN procedure

80%								
NP	150j	300j	150s	300s	400s	600s	900s	1500s
2	-	2	-	3	-	3	-	4
2.5	-	2	-	3	-	3	-	4
3	-	1	-	2	-	2	2	3
4	1	1	1	2	2	2	2	3
6	1	2	1	3	3	3	3	4
8	1	2	1	2	2	3	3	3
10	1	3	2	4	3	4	4	3
12	1	3	2	4	3	4	4	4
14	2	4	2	5	4	5	4	5
16	2	4	3	5	4	4	4	4
18	2	4	2	5	4	4	4	4
20	2	4	3	5	4	4	4	4
24	2	4	2	5	4	4	4	4
85%								
NP	150j	300j	150s	300s	400s	600s	900s	1500s
2	-	2	-	4	-	4	-	5
2.5	-	2	-	4	-	4	-	5
3	-	2	-	3	-	3	3	4
4	1	1	2	2	2	2	3	3
6	1	2	1	3	3	3	4	4
8	1	2	1	3	3	3	4	4
10	2	3	2	5	4	4	5	4
12	2	3	2	4	4	5	5	5
14	2	5	2	6	5	6	5	6
16	3	5	3	6	5	5	5	5
18	2	5	3	6	5	5	5	4
20	3	5	3	6	5	5	5	4
24	3	5	3	6	5	5	5	4
90%								
NP	150j	300j	150s	300s	400s	600s	900s	1500s
2	-	3	-	5	-	5	-	7
2.5	-	3	-	5	-	5	-	7
3	-	2	-	4	-	4	4	5
4	2	2	2	3	3	3	4	4
6	1	3	2	4	4	5	5	5
8	1	3	1	4	4	4	5	5
10	2	4	3	6	5	6	7	5
12	2	4	2	5	5	6	7	6
14	2	7	3	8	6	7	7	7
16	3	6	4	7	6	7	6	6
18	3	6	3	7	6	6	6	6
20	3	6	4	7	7	7	6	5
24	3	7	4	7	7	7	6	5

形状とし、頭部高さは JIS 規格の六角ボルト部品等級 C に規定されている値を用いる。管フランジとボルトは線形弾性体とし、ヤング率は 200 GPa、ポアソン比は 0.3 としている。ガスケットは厚さ方向にのみ剛性を有する一次元ばねモデルの集合としてモデル化し、うず巻形ガスケット、ジョイントシートガスケットとも負荷時のヤング率を 500 MPa、除荷時のヤング率を 5 GPa としている<sup>(2)</sup>。また、ボルト締付け軸力は、うず巻形ガスケットを用いる場合平均ガスケット接触応力が 60 MPa になるように、シートガスケットを用いる場合 30 MPa になるように設定している。

#### 4 解析結果と考察

各締付け作業周回の完了時に残留しているボルト軸力の平均値が、所定の軸力の 80, 85, 90% より初めて小さくなった時の周回数を表 3 と表 4 に示している。表 3 は ASME の締付け手順を採用した時の Round 4 における周回数である。表中、値が零のものは、Round 3 において既に各精度を満足したものである。表 4 は著者らが提案した手順を用いた時の表 2 中の Assembly における周回数である。

表 3 と表 4 を比較すると、同じまたは ASME の方が 1 回少ない結果となっている。これは ASME 手順の Round 1-3 と、提案している手順のインストール作業の違いで

あり、これらを考慮すると提案している手順の方がより作業効率が高いと言える。

表 4 に着目する。class 150 lb の管フランジに関しては、90% の精度を達成する場合、最大で 4 週の締付け作業を行えば良いことが分かる。しかしながら、より呼び圧力の高いものに対しては、6 回を超える作業が必要となる場合がある。呼び径の影響を見てみると、一般的に呼び径が大きくなるほど必要となる周回数が増えている。しかしながら、3inch 未満の管フランジに関しては反対に回数が増えているものもある。これはボルトの締付けにより管フランジ全体が回転する口開き変形を生じているためである。次に、設定した達成度 (80%, 85%, 90%) による影響をみている。80% と 85% を比較するとその差は 1 周以下、85% と 90% を比較すると最大差は 2 周になっている。これは、締付け周回数が増えると、全ボルト軸力の平均値の増加率が低下するためである。

#### 参考文献

- (1) ASME PCC-1, "Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly," 2000.
- (2) 高木知弘, 福岡俊道, 管フランジ締結体のボルト締付け指針の提案, 機論, 70-696, A(2004), 掲載予定.
- (3) 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.