

# 圧力容器のボルト締めフランジの設計 (プログラマがみたハブの設計)

NAOKI

Draft, Mar/22/2014, Rev. 3

## 概要

プログラマとしてはフランジの強度計算及び計算手法そのものには興味がない。ただ、一体形フランジやハブ付きルーズフランジのハブの形状、寸法の決め方には興味深いものがある。同じ設計条件でありながら、それから設計・製造したフランジの形状は会社により様々である。同じ会社でありながら設計者により異なることもある。

見聞きし、あるものはプログラミングしたハブ形状の決定方法を各社のノウハウに抵触しない範囲で記録しておく。後のプログラミングの備忘とする。

## 1 基本寸法

一般に、フランジの強度計算は ASME<sup>\*1</sup>, JIS<sup>\*2</sup> に基づいて行こなわれている。ここでもこれらの規格・標準で設計するものとした。

### 1.1 ボルト

#### 1.1.1 最小ボルトサイズ

一般に、各社で実績に基づきシエル径毎に最小ボルトサイズを定めている。各社の標準は公的規格、標準をも満足するように決められていると考えられる。ただし、U<sub>1/2</sub> (M<sub>12</sub>) 以下のサイズの使用には注意が必要である [3],[8]。

(Rev. 3)

#### 1.1.2 ボルティング データ

ボルトの谷径以外は TEMA<sup>\*3</sup>, JIS B 8259 - 1989 に基準があるので会社で大差はない<sup>\*4</sup>。ボルトの谷径は使用するボルトのネジ精度、谷径と呼びながら谷径を使用するのか、有効径を使うのかで会社でまちまちである。ユニファイネジの場合、TEMA の Root Area を使うところが多い。ただし、この面積は谷径での断面積ではない。

## 1.2 ガスケット

### 1.2.1 最小ガスケット幅

ボルトと同様に、各社はガスケット材質、シエル径毎に最小ガスケット幅を定めている。実績、ガスケットメーカーの推奨値及び公的規格などから決めたものと考えられる。ASME APPENDIX TABLE 2-4 の推奨の取り扱いはやや曖昧である。設計者が明確な見解を持っていないように見受けられる。

<sup>\*1</sup> ASME BPVC Section VIII Division 1

<sup>\*2</sup> JIS B 8265 附属書 3

<sup>\*3</sup> STANDARDS OF THE TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION

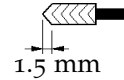
<sup>\*4</sup> 参考 1-1, 1-2 を参照。

### 1.2.2 ガasket幅のチェック

規格で要求していないし、ほぼ上記の最小gasket幅で十分であるので、gasket幅のチェックを明示するところは少ない。  $A_b\sigma_a/(2\pi yG)$  で  $N$  のチェックを明示的にするところは少ない\*5。

### 1.2.3 渦巻き型gasket幅

渦巻きgasketの外側 1.5 mm (1/16 in.) をgasketの無効部分として、計算ではgasket幅に含めないところがある。



### 1.2.4 係数、最小設計締付圧力

gasket係数  $m$  及び最小設計締付圧力  $y$  の値はgasketメーカーの推奨値を使う所が多くなった。ASME APPENDIX TABLE 2-5.1 NOTE (1) に規格の値は推奨値であることが明記された。

## 2 設計全般

### 2.1 規格・標準

#### 2.1.1 $\pi = 3.14$

ASME では  $H_p = 2b \times 3.14GmP$  などと  $\pi = 3.14$  である\*6。Typography 上の些細なことなのだろうか。プログラマにとっては注意事項である。

#### 2.1.2 フランジ内径

ハブ軸方向応力  $\sigma_H$  の計算で、フランジの内径  $B$  の代わりに  $B_1$  を条件付きで用いることができる。  $B < 20g_1$  と小口径フランジにしか適用されないの、適用の考慮自体をしないところが多い。

#### 2.1.3 フランジファクタ

勾配のないストレートなハブ ( $g_1 = g_0$ ) を持つフランジのフランジ係数に関しては JIS, ASME ともに明記がない。  $h$  に関わらず  $f = 1.0$ ,  $F = 0.908920$ ,  $V = 0.550130$  としている。

ASME BPVC Sec. VIII Div. 2 では  $g_1 = g_0$  であっても  $h$  の値がなければフランジ係数は算出できない。

#### 2.1.4 フランジの剛性

ASME APPENDIX 2-14 でフランジの剛性 (rigidity) チェックが強制規定になって久しい。JIS には剛性チェックの規定はない。剛性係数 (指標, rigidity index)  $J$  は  $h_0$  に関係するので将来ハブの形状決定に変化があると考えられる。

#### 2.1.5 モーメント修正係数

TEMA, JIS B 8249 にはモーメント修正係数の規定がある。熱交換器の本体フランジであっても、これらの標準が適用されない限りモーメント修正係数を考慮しないところが多い。しかし、ASME (Rev. 2) BPVC 2010 Edition で bolt spacing factor として修正係数が規定された。

\*5 以降、特記なき記号の意味は JIS B 8265 付属書 3 による。

\*6 Division 2 でも  $\pi = 3.14$  となっている。

### 2.1.6 仕切板用ガスケット

ASME UHX-4(c) で仕切板用ガスケットの影響を最小必要ボルト荷重に考慮しなければならないとある。しかし、考慮の仕方は記載がない。TEMA RGP-RCB-11.7 を適用するのが妥当と考えられる。

### 2.1.7 鍛造代

一般的にフランジの最小厚さに Forging Margin を加え計算厚さとしている。

## 2.2 ボルト

### 2.2.1 総有効断面積

実際に使用するボルトの総有効断面積  $A_b$  はボルトの総有効断面積  $A_m$  以上でなければならない。ボルトの締め過ぎなどに対処するために  $A_b$  に余裕をとる会社、場合がある。余裕の取り方としては以下のようなものがあり、単独または組合せて断面積を増している。

- (a) 使用状態の有効断面積  $A_{m1}$  に割り増し係数をかける
- (b) ガスケット締付時の有効断面積  $A_{m2}$  に割り増し係数をかける
- (c) ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重  $W_{m2}$  の計算で  $y$  に割り増し係数をかける
- (d) 最大ボルト間隔の基準を設定し適用する
- (e) ボルト本数を指定する

ボルト本数は一旦サイジングが終わった後でないと指定できないので、コンピュータでの自動サイジングには向かない。

なお、ボルトの総本数は 4 の倍数でなければならない。

(Rev. 3)

### 2.2.2 フランジの剛性

JIS 規格適用機器では普通フランジの剛性チェックはしないこともあり、 $A_b$  の割り増しを考慮していないように見受けられる。剛性のチェックが必要になると  $A_b$  の割り増しの考え方も変わってくると考える。

また、ASME APPENDIX S が MANDATORY になれば更に考え方は変わるであろう。

## 2.3 ガスケット

### 2.3.1 ガスケットの位置

ガスケットの位置は無条件に、最も外側（ボルト寄り）の可能な位置にするところが多い。

- (a)  $H$  が支配的な高圧フランジは一般的に想定していない。
- (b) 中低圧フランジでは  $W_g$  の影響が大きいため、 $h_G$  を短くした方がよい。 $h_G$  を小さくするのに  $G$  を大きくする結果ガスケットは外側になる。
- (c) 中低圧フランジでは  $g_1$  よりガスケット幅からボルト サークル径が決まることが多い。結果ガスケットは外側になる。ガスケット位置の調整代がない。

の理由でガスケット位置の検討をするところが少ないのではと考える。設計圧力とガスケット位置の関係について [g] に目安がある。

(Rev. 3)

ガスケット位置を検討する場合、外輪付きガスケットでは外輪幅の考え方でボルト サークル径に影響がでる。

### 3 ハブ形状の決定

Special flanges that are required to be designd should only be used as a last resort. Whenever possible, standard flanges should be utilized.

Dennis R. Moss, *PRESSURE VESSEL DESIGN MANUAL*, Third Edition

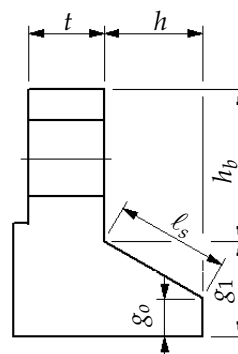
#### 3.1 概要

多くの設計者が口を揃えて言う“実績のある規格フランジの形状に似せる”が設計の基本である。規格フランジの“形”というものはあるのか、はたして理想的な形状<sup>\*7</sup>なのか、素人は設計者の言を信じるしかない。

##### 3.1.1 規格フランジの形状

“実績のある規格フランジの形状に似せる”といっても<sup>\*8</sup>、何を似せるのかは設計者によって様々である。会社によって着目する部位は様々である<sup>\*9</sup>。

規格・標準からハブの勾配は  $1/3$  以下でなければならない。ハブの勾配を一定に固定し設計するところがある。この場合、ハブの勾配もノウハウの一つと言える。



##### 3.1.2 手法 I

ハブ応力修正係数  $f$  を考慮する。

- $x = \sqrt{B/g_0}$  とし、 $f = F_1(x)$  となる関数  $F_1$  を実績・推奨フランジをもとに定義する。
- $g_1/g_0 = F_2(x, B)$  となる関数  $F_2$  を実績・推奨フランジをもとに定義する。
- 上記で仮定した  $f, g_1/g_0$  で附属書 3 図 4 などから  $h/\sqrt{B g_0}$  を求める。それから  $h$  を計算する。
- ハブの勾配を計算し、 $1/\alpha - 1/3$  の範囲にない場合は  $g_1$  と  $f$  を再び仮定し、(c), (d) を繰り返す。

##### 3.1.3 手法 II

製品重量を考慮する。

- ハブの勾配  $1/s$  を決める。
- 附属書 3 図 4 及び実績から、ハブの最大長さを  $h_{max} = \text{MIN}[1.3\sqrt{B g_0}, 4g_0 s, \alpha]$  とする。
- $1.5g_0/s + g_0 \leq g_1 \leq 5g_0$  で、かつハブの最大長さを満足するフランジの厚さを決定し、重量を計算をする。最軽量となる形状を採用する。

<sup>\*7</sup> My golf clubs are not by Taylor Made.

<sup>\*8</sup> 示唆するところは単に“ビッグテールは駄目”なのかもしれない。

<sup>\*9</sup> 参考 2-1, 2-2 に一例を示した。

### 3.1.4 手法 III

フランジ厚さ  $t$  とハブ長さ  $h$  のバランスに着目する .

- (a) ハブの勾配  $1/s$  を決める .
- (b)  $g_1$  を  $g_1 = 1.5g_0/s + g_0$  から始め順次上げていく .
- (c) フランジの厚さを  $\alpha h$  から初めて必要厚さ  $t$  を求める .  $t \leq \beta h$  でなければ , (b), (c) を繰り返す .  $\alpha h \leq t \leq \beta h$  を満足する最小  $g_1$  を採用する .

### 3.1.5 手法 IV

フランジ背面高さ  $h_b$  とハブ傾斜長さ  $l_s$  のバランスに着目する .

- (a)  $l_s/h_b = \alpha$  となるように形状を決める .
- (b) 設計者が決める (指定する) 項目が多いので , 自動サイジングには向かない .

DRAFT

# 参考 1-1

ユニファイ ボルトのデータ - 推奨最小値

Bolt size $d_n$	Nominal Diameter mm	Root Diameter mm	Hole Diameter mm	Radial Distance R mm	Edge Distance E mm	Bolt Spacing B mm
U 1/2 13UNC	12.700	10.1736	16.0	20.6	15.9	31.8
U 5/8 11UNC	15.875	12.8814	19.0	23.8	19.1	38.1
U 3/4 10UNC	19.050	15.7504	22.0	28.6	20.6	44.5
U 7/8 9UNC	22.225	18.5522	25.0	31.8	23.8	52.4
U 1 8UNC	25.400	21.2748	28.0	34.9	27.0	57.2
U 1-1/8 8UN	28.575	24.4543	32.0	38.1	28.6	63.5
U 1-1/4 8UN	31.750	27.6246	35.0	44.5	31.8	71.4
U 1-3/8 8UN	34.925	30.8021	38.0	47.6	34.9	77.8
U 1-1/2 8UN	38.100	33.9725	41.0	50.8	38.1	82.6
U 1-5/8 8UN	41.275	37.1487	44.0	54.0	41.3	88.9
U 1-3/4 8UN	44.450	40.3294	47.0	57.2	44.5	95.3
U 1-7/8 8UN	47.625	43.5041	51.0	60.3	47.6	101.6
U 2 8UN	50.800	46.6741	54.0	63.5	50.8	108.0
U 2-1/4 8UN	57.150	53.0264	60.0	69.9	57.2	120.7
U 2-1/2 8UN	63.500	59.3771	67.0	77.8	60.3	133.4
U 2-3/4 8UN	69.850	65.7265	73.0	85.7	66.7	146.1
U 3 8UN	76.200	72.0750	79.0	92.1	73.0	158.8
U 3-1/4 8UN	82.550	78.4229	86.0	95.3	76.2	168.3
U 3-1/2 8UN	88.900	84.7750	92.0	104.8	82.6	181.0
U 3-3/4 8UN	95.250	91.1216	98.0	112.7	88.9	193.7
U 4 8UN	101.600	97.4721	105.0	117.5	92.1	206.4

1) TEMA TABLE D-5 による

2) 谷径 (Root Diameter) は Root Area in.<sup>2</sup> の値から逆算した値.

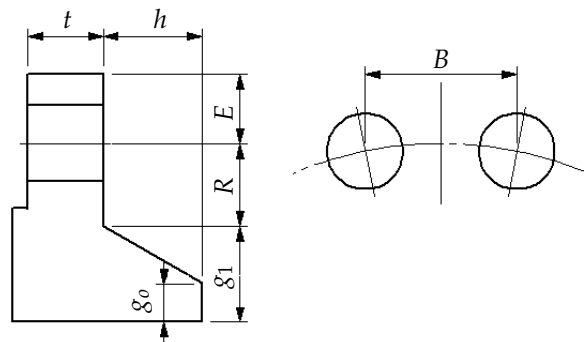
ネジの呼び径を  $d_B$  とし, ピッチを  $P$  とすれば, 有効径  $d_2$  は  $d_2 = d_B - 0.649519P$ ,

(Rev. 3)

谷径  $d$  は  $d = d_B - 1.226869P$  であるので, Root Dia.  $\approx d_B - 2 \times 0.649519P$ .

3) ボルト穴径 (Hole Diameter) は呼び径 + 3 mm で算出した値

4) U 4 を超えるサイズのボルテイング データは各社が策定した値による

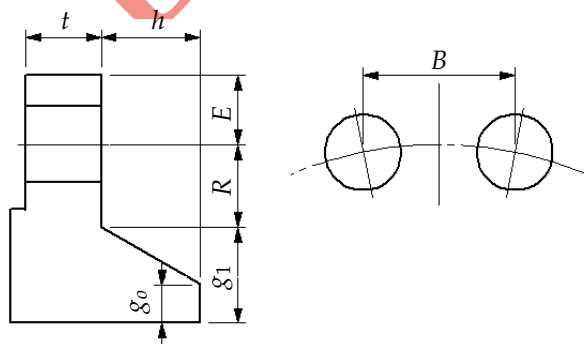


## 参考 1-2

メトリック ボルトのデータ - 推奨最小値

Bolt size $d_n$	Nominal Diameter mm	Root Diameter mm	Hole Diameter mm	Radial Distance R mm	Edge Distance E mm	Bolt Spacing B mm
M 12 x 1.75	12.0	9.803	15.0	21.0	15.0	30.0
M 14 x 2	14.0	11.496	17.0	23.0	17.5	34.0
M 16 x 2	16.0	13.496	19.0	24.0	17.5	38.0
M 18 x 2.5	18.0	14.883	21.0	27.0	20.0	42.0
M 20 x 2.5	20.0	16.883	23.0	28.0	20.0	46.0
M 22 x 2.5	22.0	18.883	25.0	31.0	22.5	50.0
M 24 x 3	24.0	20.259	27.0	34.0	25.0	54.0
M 27 x 3	27.0	23.259	30.0	38.0	27.5	60.0
M 30 x 3	30.0	26.259	33.0	40.0	30.0	66.0
M 33 x 3	33.0	29.259	36.0	43.0	32.5	72.0
M 36 x 3	36.0	32.259	39.0	47.0	35.0	78.0
M 39 x 3	39.0	35.259	42.0	50.0	37.5	84.0
M 42 x 3	42.0	38.259	46.0	54.0	42.5	90.0
M 45 x 3	45.0	41.259	49.0	57.0	45.0	96.0
M 48 x 3	48.0	44.259	52.0	60.0	47.5	102.0
M 52 x 3	52.0	48.259	56.0	63.0	50.0	110.0

- 1) JIS B 8249 - 1989 による
- 2) 谷径 (Root Diameter) はネジ精度を 2 級とし, JIS B 0209 - 1997 付属書表 4 の  $d_{1max}$  の値である
- 3) M 52 を超えるサイズのボルディング データは各社が策定した値による

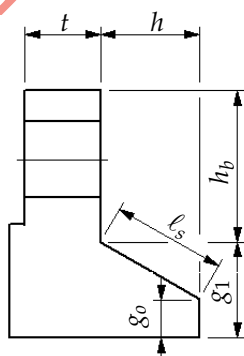


## 参考 2-1

フランジの形状

NPS	JPI 75# Series B			JPI 150# Series B			JPI 300# Series B		
	$t/h$	$s$	$h/h_b$	$t/h$	$s$	$h/h_b$	$t/h$	$s$	$h/h_b$
26	1.25	3.60	0.605	0.830	4.32	0.945	1.57	3.02	0.682
28	1.10	4.01	0.652	0.846	4.55	1.01	1.44	3.03	0.738
30	1.00	4.37	0.729	0.772	4.73	1.14	1.44	2.88	0.725
32	0.965	4.72	0.807	0.716	4.82	1.24	1.57	2.90	0.680
34	0.879	5.48	0.886	0.783	4.53	1.08	1.46	2.97	0.723
36	0.710	5.16	0.986	0.783	4.46	1.18	1.31	3.51	0.757
38	0.719	5.26	1.03	0.746	4.87	1.10	1.36	3.64	0.791
40	0.678	5.52	1.10	0.743	4.85	1.16	1.39	3.70	0.793
42	0.686	5.94	1.13	0.764	4.64	1.21	1.38	3.95	0.788
44	0.672	5.89	1.12	0.773	4.70	1.25	1.43	3.68	0.825
46	0.676	6.02	1.17	0.732	4.91	1.22	1.36	3.55	0.810
48	0.670	6.13	1.16	0.753	4.84	1.27	1.33	3.74	0.821
50	0.679	6.04	1.23	0.781	4.89	1.25	1.41	3.72	0.842
52	0.635	6.41	1.32	0.782	4.82	1.29	1.41	3.68	0.862
54	0.626	6.38	1.35	0.770	4.72	1.32	1.31	3.72	0.859
56	0.585	6.21	1.36	0.767	4.72	1.38	1.33	3.59	0.843
58	0.592	6.29	1.40	0.730	5.03	1.26	1.26	3.61	0.871
60	0.609	6.70	1.44	0.724	4.80	1.33	1.24	3.59	0.858
mean	0.764	5.56	1.08	0.766	4.73	1.22	1.39	3.47	0.793

1) 勾配:  $s = h / (g_1 - g_0)$



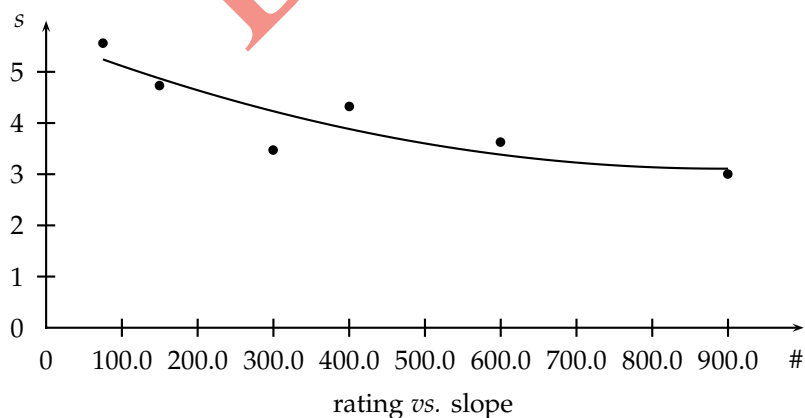
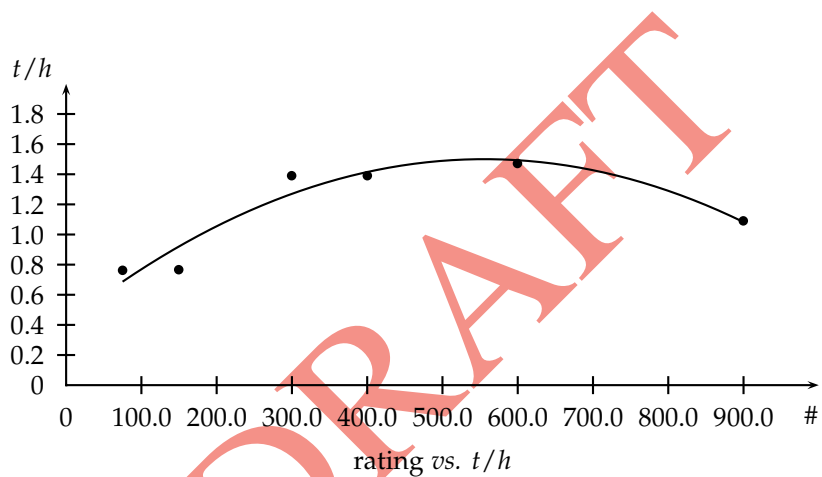


## 参考 2-2

フランジの形状

NPS	JPI 400# Series B			JPI 600# Series B			JPI 900# Series B		
	$t/h$	$s$	$h/h_b$	$t/h$	$s$	$h/h_b$	$t/h$	$s$	$h/h_b$
26	1.36	4.23	0.752	1.51	3.70	0.724	1.04	3.00	0.895
28	1.40	4.41	0.726	1.47	3.66	0.735	1.10	3.00	0.836
30	1.39	4.27	0.776	1.50	3.60	0.740	1.12	3.00	0.812
32	1.42	4.43	0.751	1.44	3.56	0.766	1.08	3.00	0.861
34	1.38	4.31	0.819	1.46	3.65	0.749	1.12	3.00	0.836
36	1.39	4.31	0.798	1.44	3.61	0.783	1.09	3.00	0.926
mean	1.39	4.33	0.770	1.47	3.63	0.749	1.09	3.00	0.861

1) 勾配:  $s = h / (g_1 - g_0)$



## 参考文献

- [1] 2007 ASME Boiler & Pressure Vessel Code VIII Division 1, RULES FOR CONSTRUCTION OF PRESSURE VESSELS
- APPENDIX 2 RULES FOR BOLTED FLANGE CONNECTIONS WITH RING TYPE GASKETS
    - TABLE 2-4 RECOMMENDED MINIMUM GASKET CONTACT WIDTHS FOR SHEET AND COMPOSITE GASKETS
  - PART UHX RULES FOR SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGERS
  - APPENDIX S DESIGN CONSIDERATIONS FOR BOLTED FLANGE CONNECTIONS
- [2] 2007 ASME Boiler & Pressure Vessel Code VIII Division 2, Alternative Rules RULES FOR CONSTRUCTION OF PRESSURE VESSELS
- [3] STANDARDS OF THE TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION, Eighth Edition
- RCB-6.3 PERIPHERAL GASKETS
  - RCB-6.4 PASS PARTITION GASKETS
  - RCB-11 END FLANGES AND BOLTING
  - RGP-RCB-11 END FLANGES AND BOLTING
    - RGP-RCB-11.5 LARGE DIAMETER LOW PRESSURE FLANGES
    - RGP-RCB-11.7 PASS PARTITION RIB AREA
- [4] JIS B 8265 – 2003 附属書 3 圧力容器のボルト締めフランジ
- [5] JIS B 8249 – 1989 多管円筒形熱交換器
- [6] JPI-7S-43-2001 石油工業用大口径フランジ
- [7] Dennis R. Moss, *PRESSURE VESSEL DESIGN MANUAL*, Third Edition, Elsevier, Inc., 2004
- [8] *Modern Flange Design*, 5th Edition, Bulletin 502, Taylor Forge International Inc.
- [9] Flange Gasket Location, <http://www.gulleyassociates.com/news.htm#Dec98>
- [10] James R., Farr and Mann H. Jawad, *GUIDEBOOK FOR THE DESIGN OF ASME SECTION VIII PRESSURE VESSEL*, hird Edition, ASME PRESS, 2006