

リップシール型フランジの強度計算例

MSP0005-R00
2013 年 9 月 5 日
エムエス配管解析技術
水野 貞男

1. まえがき

「配管の設計解析法⁽¹⁾」の第 5.1.6.d 項では、パッキン(ガスケット)を使用した通常の一体型フランジの強度計算を例示したが、紙幅の関係で、リップシール式の一体型フランジに就いては省略した。

本資料は、リップシール型フランジの強度計算を例示したものである。

2. リップシール型フランジの強度計算

リップシール型フランジ継手は、FBR などの Na 容器や配管・弁などで特別に取り外しの必要となる箇所や、また、高温の水素や可燃性ガス・致死性ガスなどを取り扱う化学装置や燃料電池などの反応容器や配管のフランジ継手部で特に漏洩を抑えたい部分に使用する。

これも元々は一体型のフランジ継手であり、フランジ自体の強度計算は、JIS B8243-1978「圧力容器の構造規格」の「付属書2 フランジの応力計算方法」(JIS B8267-2008 などを参照。)の規定を適用して実施する。

内部流体に対する耐リーク性はリップシール溶接によって確保するため、フランジは専ら作動内圧や配管反力を支えるだけとなる。このため、一体型のフランジ計算に於いて、パッキンの押し潰しやシール面圧を維持するための荷重検討が不要となり、所謂 ガスケット係数 m やガスケット締め付け圧力 y をゼロと置いて強度計算するのである。

3. リップシール型フランジの強度計算例

表 3-1 と表 3-2 にリップシール型フランジの強度計算例を示す。

また、表 3-3 と表 3-4 には、「配管の設計解析法⁽¹⁾」の第 5.1.6.d 項に示したパッキン(ガスケット)式の一体型フランジ計算例を再録して示す。

両フランジとも、同じ設計仕様(圧力・温度・基本寸法・材料)としているので、両者を比較して頂くと、その差が理解し易い。

参考文献

(1) 水野貞男「配管の設計解析法」エムエス配管解析技術, 2013 年 5 月

表3-1 リップシール型フランジ継手の強度計算(例) (1/2)

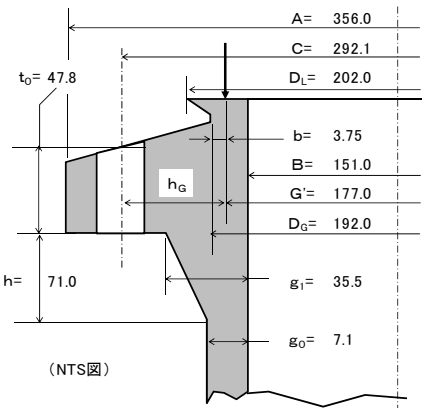
フランジの負荷荷重の計算										
計算の区分					フランジ・ボルト					
名称					試計算					
図面番号					図					
部品番号					1					
設計条件	内部流体の種類	—		—		水蒸気				
		設計圧力		P	MPa	5.0				
		設計温度		Temp	℃	500				
		仕様材料		SUSF316						
	材料の基本許容応力	設計温度		σ_{fb}	N/mm ²	78.6				
		常温		σ_{fa}	N/mm ²	121				
	使用厚さ		t_0	mm	47.8					
	外径		A	mm	356.0					
	内径		B	mm	151.0					
	ハブ先端の厚さ		g_0	mm	7.1					
	ハブ根元の厚さ		g_1	mm	35.5					
	ハブの長さ		h	mm	71.0					
	ボルト荷重	使用状態		W_{m11}	N	0.0				
		ガスケット締付け時		W_{m21}	N	0.0				
単位:mm(腐れ代除去後)										
										
設計条件	使用材料	A193GrB16								
		材料の基本許容応力	設計温度		σ_b	N/mm ²	109			
			常温		σ_a	N/mm ²	171			
		ボルト中心円の直径		C	mm	292.1				
	ボルト呼び径		d_B	mm	25.4					
	ねじの谷底径又は最小径		d_b	mm	21.505					
	使用本数		n	本	12					
	管台壁又は胴	SUS316TP								
		材料の基本許容応力	設計温度		σ_{nb}	N/mm ²	78.6			
	常温		σ_{na}	N/mm ²	129.0					
	設計条件	使用状態	$H=\pi D_L^2 P/4$		H	N	160,237			
			$H_p=2\pi b G m P$		H_p	N	0			
			$\textcircled{1}=H+H_p$		$\textcircled{1}$	N	160,237			
			$W_{m1}=\max(\textcircled{1}, W_{m11})=W_0$		W_{m1}	N	160,237			
ボルト締付け時		$\textcircled{2}=\pi b G y$		$\textcircled{2}$	N	0				
		$W_{m2}=\max(\textcircled{2}, W_{m21})$		W_{m2}	N	0				
ボルト必要断面積		$A_{m1}=W_{m1}/\sigma_b$		A_{m1}	mm ²	1,470				
		$A_{m2}=W_{m2}/\sigma_a$		A_{m2}	mm ²	0				
		$A_m=\max(A_{m1}, A_{m2})$		A_m	mm ²	1,470				
ボルト総断面積		$A_b=n\pi d_b^2/4$		A_b	mm ²	4,359				
ボルト面積の判定		$A_m\leq A_b$		—	合格					
初期締付け時ボルト荷重		$W_g=(A_m+A_b)\sigma_a/2$		W_g	N	498,353				
作用モーメントのフランジ		$R=[(C-B)/2]-g_1$		35.05						
		フランジの荷重(使用状態) (N)		89,539		モーメントアーム長さ (mm)		モーメント(使用状態) (N・mm)		
	$H_0=\pi B^2 P/4$		89,539		$h_0=R+0.5g_1$		52.80		$M_0=H_0\cdot h_0$ 4,727,676	
	$H_G=W_0-H$		0		$h_G=(C-G)/2$		50.05		$M_G=H_G\cdot h_G$ 0	
	$H_T=H-H_0$		70,698		$h_T=(R+g_1+h_G)/2$		60.30		$M_T=H_T\cdot h_T$ 4,263,066	
	使用状態の全モーメント		$M_0=M_0+M_G+M_T$		M_0		N・mm	8,990,742		
	初期ボルト締付け時のモーメント		$M_g=W_g\cdot(C-G)/2=W_g\cdot h_g$		M_g		N・mm	24,942,584		

表3-2 リップシール型フランジ継手の強度計算(例) (2/2)

計算の区分					フランジ・ボルト	検討項目				
フランジの形式					一体型	1. ガasket幅				
ボルト間隔の検討(○:実施　×:不実施)					○	最小値		判定		
名称					試算	≤　N =		合格		
図面番号					図					
部品番号					1	2. ボルト断面積				
設計条件	内部流体の種類			—	—	水蒸気	最小値		判定	
	設計圧力			P	MPa	5.0	Am=　1,470	≤A=　4,359	合格	
	設計温度			T _{emp}	℃	500				
	フランジ	仕様材料				SUSF316	3. ボルト間隔			
		材料の基本許容応力	設計温度	σ _{fb}	N/mm ²	78.6	実値		判定 合格	
			常温	σ _{fa}	N/mm ²	121	B ₂ =　75.6 ≤B _{max} = 647.82			
		使用厚さ			t ₀	mm	47.8	C _F = 1.00		
		外径			A	mm	356			
		内径			B	mm	151			
		ハブ先端の厚さ			g ₀	mm	7.1	4. フランジの応力評価		
		ハブ根元の厚さ			g ₁	mm	35.5	使用状態		
		ハブの長さ			h	mm	71	応力の計算値		許容値
		ボルト荷重	使用状態	W _{m11}	N	0	σ _{H0} =　26.7	≤σ _{fb} = 117.9	合格	
			ガスケット締め付け時	W _{m21}	N	0	σ _{R0} =　30.3	≤σ _{fb} = 78.6	合格	
	ガスケット	使用材料				—	(σ _H +σ _R) _o /2=　28.5	≤σ _{fb} = 78.6	合格	
		座面の形状(表3)				—	(σ _H +σ _T) _o /2=　22.9	≤σ _{fb} = 78.6	合格	
		区分(表3)				—				
		リップ外径			D _L	mm	202	初期ボルト締め付け状態		
		リップシール付け根径			D _G	mm	192	応力の計算値	許容値	判定
		幅　N=1.30D _G ^{1/3}			N	mm	7.5	σ _{Hg} =　74.2	≤σ _{Fa} = 181.5	合格
		G'=D _G -2b			G'	mm	177.0	σ _{Rg} =　83.9	≤σ _{fa} = 121.0	合格
		座の幅　b=N/2			b	mm	3.7	σ _{Tg} =　53.1	≤σ _{fa} = 121.0	合格
		リップ部の荷重反力径			G=D _G	mm	192	(σ _H +σ _R) _g /2=　79.1	≤σ _{fa} = 121.0	合格
		ガスケット係数(表2)			m	—	0	(σ _H +σ _T) _g /2=　63.6	≤σ _{fa} = 121.0	合格
		最小設計締め付け圧力(表2)			y	N/mm ²	0			
	ボルト	使用材料				A193GrB16	(注記) A193GrB16: SNB16相当ボルト材 クロムモリブデンバナジウム鋼 σ _y =762MPa σ _u =863MPa			
		材料の基本許容応力	設計温度	σ _b	N/mm ²	109				
			常温	σ _a	N/mm ²	171				
		ボルト中心円の直径			C	mm	292.1			
		ボルト呼び径			d _B	mm	25.4			
		ねじの谷底径又は最小径			d _b	mm	21.505			
		使用本数			n	本	12			
	管台壁又は胴	使用材料				SUS316TP				
		材料の基本許容応力	設計温度	σ _{nb}	N/mm ²	78.6				
			常温	σ _{na}	N/mm ²	129				

表3-3 一体型フランジ継手の強度計算(例) (1/2)

フランジの負荷荷重の計算												
計算の区分					フランジ・ボルト							
名称					試計算							
図面番号					図							
部品番号					1							
設計条件	フランジ	内部流体の種類		—	—	水蒸気	設計条件	使用材料		—		
		設計圧力		P	MPa	5.0		座面の形状(表3)		1a		
		設計温度		T _{emp}	℃	500		区分(表3)		Ⅱ		
		仕様材料		SUSF316				幅(表3)		N	mm	15.8
	材料の基本許容応力	設計温度	σ _{fb}	N/mm ²	78.6	幅(表3)		ω	mm	—		
		常温	σ _{fa}	N/mm ²	121	厚さ(表3)		T	mm	4.5		
	使用厚さ		t ₀	mm	47.8	座の基本幅		b ₀	mm	7.9		
	外径		A	mm	356.0	座の有効幅		b	mm	7.08		
	内径		B	mm	151.0	ガスケット荷重反力径		G	mm	192.24		
	ハブ先端の厚さ		g ₀	mm	7.1	ガスケット係数(表2)		m	—	3		
	ハブ根元の厚さ		g ₁	mm	35.5	最小設計締付け圧力(表2)		y	N/mm ²	68.9		
	ハブの長さ		h	mm	71.0	ボルト		使用材料		A193GrB16		
	ボルト荷重	使用状態	W _{m11}	N	0.0			材料の基本許容応力	設計温度	σ _b	N/mm ²	109
		ガスケット締付け時	W _{m21}	N	0.0				常温	σ _a	N/mm ²	171
							ボルト中心円の直径		C	mm	292.1	
					ボルト呼び径		d _B	mm	25.4			
					ねじの谷底径又は最小径		d _b	mm	21.505			
					使用本数		n	本	12			
単位:mm(腐れ除去後)					ボルト荷重	管台壁又は胴		使用材料		SUS316TP		
						材料の基本許容応力	設計温度	σ _{nb}	N/mm ²	78.6		
							常温	σ _{na}	N/mm ²	129.0		
						使用状態	H=π G ² P/4		H	N	145,127	
							H _p =2 π bGmP		H _p	N	128,277	
							①=H+H _p		①	N	273,404	
							W _{m1} =max(①, W _{m11})=W ₀		W _{m1}	N	273,404	
						ガスケット締付け時	②=π bGy		②	N	294,609	
							W _{m2} =max(②, W _{m21})		W _{m2}	N	294,609	
						ボルト必要断面積	A _{m1} =W _{m1} /σ _b		A _{m1}	mm ²	2,508	
A _{m2} =W _{m2} /σ _a		A _{m2}	mm ²	1,723								
A _m =max(A _{m1} , A _{m2})		A _m	mm ²	2,508								
ボルト総断面積		Ab=n π d _b ² /4		A _b	mm ²	4,359						
ボルト面積の判定		A _m ≤A _b		—		合格						
ガスケット締付け時ボルト荷重		W _g =(A _m +A _b)σ _a /2		W _g	N	587,122						
作用モーメント	R={ (C-B)/2 }-g ₁		35.05									
	フランジの荷重(使用状態) (N)				モーメントアーム長さ (mm)		モーメント(使用状態) (N・mm)					
	H ₀ =π B ² P/4		89,539		h ₀ =R+0.5g ₁		52.8		M ₀ =H ₀ ・h ₀	4,727,676		
	H _G =W ₀ -H		128,277		h _G =(C-G)/2		49.93		M _G =H _G ・h _G	6,404,861		
	H _T =H-H ₀		55,587		h _T =(R+g ₁ +h _G)/2		60.24		M _T =H _T ・h _T	3,348,586		
	使用状態の全モーメント		M ₀ =M ₀ +M _G +M _T				Mo		N・mm	14,481,123		
	ガスケット締付け時のモーメント		M _g =W _g ・(C-G)/2=W _g ・h _G				M _g		N・mm	29,314,982		

表3-4 一体型フランジ継手の強度計算(例) (2/2)

計算の区分					フランジ・ボルト	検討項目				
フランジの形式					一体型	1. ガスケット幅 最小値 実際値 判定 8.91 ≤ N = 15.8 合格				
ボルト間隔の検討(○:実施 ×:不実施)					○					
名称					試算					
図面番号					図					
部品番号					1	2. ボルト断面積 最小値 実際値 判定 Am= 2,508 ≤ A= 4,359 合格				
設計条件	内部流体の種類			—	—				水蒸気	
	設計圧力			P	MPa				5.0	
	設計温度			T _{emp}	℃				500	
	フランジ	仕様材料				SUSF316	3. ボルト間隔 実際値 最大距離 判定 B₂ = 75.6 ≤ B_{max}= 129.41 合格 C_F = 1.00			
		材料の基本許容応力	設計温度	σ _{fb}	N/mm ²	78.6				
			常温	σ _{fa}	N/mm ²	121				
		使用厚さ			t ₀	mm				47.8
		外径			A	mm	356			
		内径			B	mm	151			
		ハブ先端の厚さ			g ₀	mm	7.1	4. フランジの応力評価 使用状態 応力の計算値 許容値 判定 σ_{H0}= 43.1 ≤ σ_{Fb}= 117.9 合格 σ_{R0}= 48.7 ≤ σ_{fb}= 78.6 合格 σ_{T0}= 30.8 ≤ σ_{fb}= 78.6 合格		
ハブ根元の厚さ		g ₁	mm	35.5						
		h	mm	71						
ボルト荷重	使用状態	W _{m11}	N	0						
	ガスケット締付け時	W _{m21}	N	0						
設計条件	使用材料				—	(σ _H +σ _R) _o /2= 45.9 ≤ σ _{fb} = 78.6 合格				
	座面の形状(表3)				1a	(σ _H +σ _T) _o /2= 36.9 ≤ σ _{fb} = 78.6 合格				
	区分(表3)				II					
	幅(表3)				N	mm	15.8	ガスケット締付け状態		
	幅(表3)				ω	mm	—	応力の計算値 許容値 判定		
	厚さ(表3)				T	mm	4.5	σ _{Hg} = 87.2 ≤ σ _{Fa} = 181.5 合格		
	座の基本幅				b ₀	mm	7.9	σ _{Rg} = 98.7 ≤ σ _{fa} = 121.0 合格		
	座の有効幅				b	mm	7.08	σ _{Tg} = 62.4 ≤ σ _{fa} = 121.0 合格		
	ガスケット荷重反力径				G	mm	192.24	(σ _H +σ _R) _g /2= 92.9 ≤ σ _{fa} = 121.0 合格		
	ガスケット係数(表2)				m	—	3	(σ _H +σ _T) _g /2= 74.8 ≤ σ _{fa} = 121.0 合格		
最小設計締付け圧力(表2)				y	N/mm ²	68.9				
設計条件	使用材料				A193GrB16	(注記)A193GrB16: SNB16相当ボルト材				
	材料の基本許容応力	設計温度	σ _b	N/mm ²	109	クロムモリブデンバナジウム鋼 σ _y =762MPa σ _u =863MPa				
		常温	σ _a	N/mm ²	171					
	ボルト中心円の直径			C	mm				292.1	
	ボルト呼び径			d _B	mm				25.4	
	ねじの谷底径又は最小径			d _b	mm				21.505	
	使用本数			n	本	12				
設計条件	使用材料				SUS316TP					
	材料の基本許容応力	設計温度	σ _{nb}	N/mm ²	78.6					
		常温	σ _{na}	N/mm ²	129					