

配管サポート強度計算式

株式会社 プラント耐震設計システムズ

池 田 雅 俊

1. まえがき

配管サポートは多くの部材からなり、その耐震性能評価法はそれぞれの構造特性に応じて設定されなければならない。溶着部品は耐圧部材としての評価を行なう。サポート構造体及び金具類は、ビーム材等から構成され構造材として日本建築学会 鋼構造設計基準に準じて評価を行なう。

今回はサポート構造体を日本建築学会 鋼構造設計基準に準じて耐震性能評価を行なう場合についてレベル1地震動に係る耐震性能評価計算フォームを作成したの紹介する。

2. 許容応力

サポート構造体のレベル1地震動に係る耐震性能評価に係る耐震設計用許容応力は、耐震告示第16条第1項第3号により、次のように定められている。

サポートの非構造材に対する耐震設計許容応力は、次の表 1及び

表 2による。

表 1 配管サポートの耐震設計用許容応力

応力の種類	耐震設計用許容応力	
引張応力	F	
曲げ応力	F	
圧縮応力	(1) スカート	F又はS のいずれか小なる値
	(2) サドル	F
	(3) (1)及び(2)以外の支持構造材	F又はF のいずれか小なる値
せん断応力	F / 3	

備考 この表においてF、F 及びS は、それぞれ次の値を表すものとする。

F 材料の降伏点若しくは0.2パーセント耐力又は引張強さの70パーセントのいずれか小なる値(単位 ニュートン毎平方ミリメートル)

F 材料の有効細長比を考慮した座屈検討圧縮応力
(単位 ニュートン毎平方ミリメートル)

S 塔類の胴座屈応力S と同じ値

表 2 支持構造材の組み合わせ応力に対する耐震性能判定式

組 合 せ 応 力 の 種 類	判 定 式
圧縮応力及び曲げ応力の組合せ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$
引張応力及び曲げ応力の組合せ	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$
圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ	$\sqrt{(\sigma_c^2 + \sigma_b^2)} + 3\tau \leq f_c$
引張応力及びせん断応力の組合せ (基礎ボルトに限る。)	$\frac{\sigma_t + 1.6\tau}{1.4} \leq f_t$

備考 この表において f_c 、 f_b 、 f_t 、 c 、 b 、 t 及び τ は、それぞれ次の値を表すものとする

- f_c 当該支持構造材の耐震設計用許容圧縮応力であつて、表 (a) に定める値
(単位 ニュートン毎平方ミリメートル)
 - f_b 当該支持構造材の耐震設計用許容曲げ応力であつて、表 (a) に定める値
(単位 ニュートン毎平方ミリメートル)
 - f_t 当該支持構造材の耐震設計用許容引張応力であつて、表 (a) に定める値
(単位 ニュートン毎平方ミリメートル)
 - c 当該支持構造材に生じる圧縮応力
(単位 ニュートン毎平方ミリメートル)
 - b 当該支持構造材に生じる曲げ応力
(単位 ニュートン毎平方ミリメートル)
 - t 当該支持構造材に生じる引張応力
(単位 ニュートン毎平方ミリメートル)
- 当該支持構造材に生じるせん断応力
(単位 ニュートン毎平方ミリメートル)

3. サポート構造体の耐震性能評価のための計算フォーム

サポート構造体の耐震性能評価のための計算フォームをからにしめす。ここでは、サポート構造体として、T 型サポート及び M 型サポートについて示している。他の形状のサポートであっても同様のフォームで適用できる。

は、配管サポートの設計条件に関するフォームであり、材料特性、形状・寸法、及び通常荷重、地震荷重を入力して、各部の軸力、曲げモーメント、応力等を計算して部材の耐震性能評価フォームにデータを引き渡す。本表では、概略図に示すように T 型サポート及び M 型サポートについて掲げている。それぞれのデータが異なる場合を計算する場合は、当該列の計算式をコピーし新しい列にペースト (貼り付け) したあと、それぞれのデータを変更すればよい。

は、梁 (曲げ応力が主体のビーム部材) の耐震性能評価に関するフォームである。材質、部材寸法などのデータをから引き渡してやればよい。T 型サポート及び M 型サポートに関する例を掲げているが、以降の計算式はサポートの形状にかかわらず同じである。と同じように列の式をコピーしてペーストすれば、異なるデータの計算ができる。

は、柱脚（軸力及び曲げ応力が主体のビーム部材）の耐震性能評価に関するフォームである。梁の評価と同じように曲げ応力の評価のほかに柱軸力による座屈応力の評価と両者の合成応力の評価をおこなう。

からまでは、サポート構造体のベースブロックの耐震性能評価に関するフォームである。耐震性能評価は、日本建築学会 鋼構造設計基準の別表 5 の設計グラフを用いてアンカーボルトの引張力が生じる場合の計算を行なっている。ただし、同表中の設計グラフから読み取り値を使わず同図の下のただし書きの 3 次式の根から得られる x_n/d の値を使ってもよい。

はベースブロックの設計条件、では、アンカーボルトの耐震性能評価、ベースブロック・コンクリートの耐震性能評価及び ベースブロック・底板の耐震性能評価をそれぞれ行なっている。紙面の関係で T 型サポートに関する例だけを掲げているが、からデータを引き継いだ以降は、M 型サポートについても計算式は同じだから、T 型サポートの例の列をコピーしてペーストすれば同様に計算できる。

4. あとがき

今回は、配管サポートの支持構造体の耐震性能評価を行なう場合の計算フォームの提案を行なった。このフォームだけで計算が完結するように関連計算式や図も含めているので、使いやすいと思う。

計算式は列ごとに独立しているので、同一の形状の場合に、列をペーストして、増やしていけば、いろいろな寸法についてシミュレーションしたりすることが可能である。

また、異なる形状の場合には、やの各部の軸力、曲げモーメント、応力等の計算を変更すれば、それぞれの部材の耐震性能評価については同じフォームを使えばよい。

表 1 配管サポートの設計条件

項目		T 型計算例		M 型計算例		
材質	材質名	SS400		SS400		
	F値 (N/mm ²)	F =	245	F =	245	
	縦弾性係数	E =	194000	E =	194000	
梁	部材	L150 × 150 × 12		H200 × 200 × 8/12		
	断面積 (mm ²)	A _B =	3.48E+03	A _B =	6.53E+03	
	断面係数 (mm ³)	Z _B =	6.82E+04	Z _B =	4.72E+05	
	断面2次半径(mm)	i _B =	29.6	i _B =	50.2	
柱	部材	L150 × 150 × 12		H200 × 200 × 8/12		
	断面積 (mm ²)	A _C =	3.48E+03	A _C =	6.53E+03	
	断面係数 (mm ³)	Z _C =	6.82E+04	Z _C =	4.72E+05	
	断面2次半径(mm)	i _C =	29.6	i _C =	50.2	
通常荷重	鉛直荷重 (N)	P _w =	2.00E+04	P _w =	4.00E+04	
	水平荷重 (N)	F _w =	5.00E+02	F _w =	1.00E+03	
地震荷重	鉛直荷重 (N)	P _k =	1.20E+04	P _k =	2.40E+04	
	水平荷重 (N)	F _k =	2.40E+04	F _k =	4.80E+04	
寸法	高さ (mm)	H =	250	H =	4850	
	幅 (mm)	L =	1000	L =	2000	
	荷重位置 (mm)	L ₁ =	333	L ₁ =	1000	
	柱梁の剛比	- -	- -	$k = \frac{H}{L}$	=	2.425
	梁	曲げ応力 (N/mm ²)	$\sigma_B = \frac{(P_w + P_k)L_1}{Z_B}$	156	$\sigma_B = \frac{1}{4} \frac{k+1}{k+2} \frac{P_w + P_k}{Z_B} L$	=
柱	圧縮応力 (N/mm ²)	$\sigma_C = \frac{2(P_w + P_k)}{A_C}$	18	$\sigma_c = \frac{P_w + P_k}{2A_C}$	=	4.90E+00
	曲げ応力 (N/mm ²)	$\sigma_b = \frac{2(F_w + F_k)H}{Z_C}$	180	$\sigma_1 = \frac{(P_w + P_k)L}{8(k+2)Z_C} + \frac{(3k+1)(F_w + F_k)H}{2(6k+1)Z_C}$	=	1.42E+02
		- -	- -	$\sigma_2 = \frac{(P_w + P_k)L}{4(k+2)Z_C} + \frac{3k(F_w + F_k)H}{2(6k+1)Z_C}$	=	1.33E+02
		- -	- -	- -	- -	- -
基礎	左柱脚軸力 (N) (下向地震力)	$N^+ = P_w + P_k$	6.40E+04	$N^+ = \frac{P_w + P_k}{2}$	=	3.20E+04
	左柱脚転倒 モーメント (下向地震力)	$M_x^+ = 2(F_w + F_k)H$	1.23E+07	$M_x^+ = \frac{(P_w + P_k)L}{8(k+2)} + \frac{(3k+1)(F_w + F_k)H}{2(6k+1)}$	=	6.68E+07
	右柱脚軸力 (N) (上向地震力)	$N^- = P_w - P_k$	1.60E+04	$N^- = \frac{P_w - P_k}{2}$	=	8.00E+03
	右柱脚転倒 モーメント (上向地震力)	$M_x^- = 2(F_w + F_k)H$	1.23E+07	$M_x^- = \frac{(P_w - P_k)L}{8(k+2)} + \frac{(3k+1)(F_w + F_k)H}{2(6k+1)}$	=	6.41E+07
概略図						
			<p>なお、 1: 柱脚脚部曲げ応力 2: 柱脚梁接合部曲げ応力</p>			

表 2 梁材の耐震性能評価

項目			T 型計算例	M 型計算例
- 材質	材質名		SS400	SS400
	F値 (N/mm ²)	F =	245	245
	縦弾性係数	E =	194000	194000
- 部材	部材		L150 × 150 × 12	H200 × 200 × 8/12
	断面積 (mm ²)	A _B =	3.48E+03	6.53E+03
	断面係数 (mm ³)	Z _B =	6.82E+04	4.72E+05
	断面 2 次半径(mm)	i _B =	29.60	50.20
- 曲げ強度	曲げ応力 (N/mm ²)	b =	156	52
	許容曲げ応力	f _B = F =	245	245
	曲げ強度評価		合格	合格

表 3 柱部材の耐震性能評価

項目			T 型計算例	M 型計算例
- 材質	材質名		SS400	SS400
	F値 (N/mm ²)	F =	245	245
	縦弾性係数 (N/mm ²)	E =	194000	194000
- 部材	部材		L150 × 150 × 12	H200 × 200 × 8/12
	断面積 (mm ²)	A _C =	3.48E+03	6.53E+03
	断面係数 (mm ³)	Z _C =	6.82E+04	4.72E+05
	断面 2 次半径(mm)	i _C =	29.60	50.20
	長さ (mm)	H =	250	4850
- 圧縮強度	圧縮応力 (N/mm ²)	c =	18.39	4.90
	許容座屈応力 (N/mm ²)	Min(F,F')=	241	36
	限界細長比	$\Gamma = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$	114	114
	細長比	$\lambda = \frac{2H}{i}$	17	193
	座屈検討用圧縮応力(N/mm ²)			
	$\lambda < \Gamma :$	$F' = 1.5 \frac{1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Gamma}\right)^2}{\frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Gamma}\right)^2} F$		
	$\lambda > \Gamma :$	$F' = 1.5 \frac{0.277}{\left(\frac{\lambda}{\Gamma}\right)^2} F$	241	36
圧縮強度評価		合格	合格	
- 曲げ強度	曲げ応力 (N/mm ²)	b =	180	142
	許容曲げ応力(N/mm ²)	f _B = F =	245	245
	曲げ強度評価		合格	合格
- 合成応力	応力比	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} =$	0.81	0.72
	合成応力評価		合格	合格

表 4 配管サポートベースブロックの設計条件

項 目		T 型計算例			
		下向地震力	上向地震力		
- 設計条件	底板長さ (mm)	D =	270	270	
	底板幅 (mm)	b =	270	270	
	ボルト位置 (mm)	d _t =	45	45	
	ボルト有効断面積 (mm ²)	A _e =	157	157	
	引張側ボルト個数	n _b =	2	2	
	合成鉛直力 (N)	N =	6.4000E+04	1.6000E+04	
転倒モーメント (N・mm)	Mx =	1.2250E+07	1.2250E+07		
- 鋼構造設計基準 によるボルト張力 及びコンクリート面圧	引張側アンカーボルト 総有効断面積 (mm ²)	a _t = n _b ・A _e =	314	314	
	荷重の偏心量	e = Mx / N =	191	766	
	アンカーボルトに引張	D/6+d _t /3 =	60	60	
		e > D/6+d _t /3 :	YES	YES	
	鋼構造設計基準付 5 図表より	x/d = (e-D/2)/(D-d _t)		0.25	2.80
		$p = \frac{a_t}{b(D-d_t)}$		5.1687E-03	5.1687E-03
		u = x _n /d		0.490	0.350
		x _n = (D-d _t)u		110.25	78.75
コンクリートに生じる 最大圧縮応力 σ _c (N/mm ²)	$\sigma_c = \frac{2N(e+D/2-d_t)}{bx_n(D-d_t-x_n/3)}$		6.43	6.48	
引張側アンカーボルトに 生じる引張力 Z (N)	$Z = \frac{N(e-D/2+x_n/3)}{D-d_t-x_n/3}$		3.1671E+04	5.2881E+04	
アンカーボルト一本当 たりの引張力 T (N)	T = Z / n _b		1.5835E+04	2.6440E+04	
- 概要図	<p> $p = \frac{a_t}{b \cdot d}$ $x = e - \frac{D}{2}$ </p> <p> a_t : 引張側ボルトの総断面積 b : 底板の幅 </p>				
- 設計資料	<p> ただし、$w = x_n/d$ は、$w^3 + 3uw^2 + 6np(u+1)(w-1) = 0$ の根である。ただし、$u = x/d$, $n=15$ </p>				

表 5 配管サポート柱脚アンカーボルトの耐震性能評価

- 設計条件	アンカーボルトサイズ		M16	M16
	材質		SS400	SS400
	アンカーボルトの有効断面面積 (mm ²)	Ae =	1.5700E+02	1.5700E+02
	F値 (N/mm ²)	F =	235	235
	アンカーボルトの埋込み長さ (mm)	Lb =	600	600
	アンカーボルト径	do =	16	16
- コンクリート	コンクリートの28日設計基準強度 (N/mm ²)	Fc =	21	21
- アンカーボルト張力	アンカーボルト一本当たりの引張力 (N)	T =	1.5835E+04	2.6440E+04
- 概略図				
- アンカーボルト引張強度	引張応力 (N/mm ²)	$t = T/Ae =$	101	168
	引張応力に係る耐震設計用許容応力 (N/mm ²)	$f_t = F =$	235	235
	アンカーボルトの引張強度評価	$t \quad f_t$	合格	合格
- アンカーボルトコンクリート付着強度評価	付着応力 (N/mm ²)	$a = T / d_0 L_b =$	0.53	0.88
	アンカーボルトのコンクリートの付着強度 (N/mm ²)	$f_a = 9 F_c / 100 =$	1.85	1.85
	アンカーボルトのコンクリート付着強度評価	$t \quad f_a$	合格	合格

表 6 配管サポート柱脚部コンクリートの耐震性能評価

- コンクリート強度	コンクリートの28日設計基準強度 (N/mm ²)	Fc =	20.59	20.59
	底板下面におけるコンクリート面圧 (N/mm ²)	c =	6.43	6.48
	底板下面におけるコンクリート面圧強度 (N/mm ²)	$f_c = 2 F_c / 3 =$	13.73	13.73
	コンクリート面圧強度評価	$t \quad f_a$	合格	合格

表 7 配管サポート柱脚部底板の耐震性能評価

- 底板材質	底板材質名称		SS400	SS400
	F値	F =	245.00	245.00
- 底板寸法	底板厚さ t	t =	15.00	15.00
	柱脚よりアンカーボルトの位置 G	G =	15.00	15.00
	アンカーボルト用孔径 R	R =	18.00	18.00
	柱脚より底板の張り出し長さ	u =	60.00	60.00
	コンクリート面圧の作用する範囲	x_n =	110.25	78.75
- 底板外力	コンクリートの最大面圧 (N/mm ²)	c =	6.43	6.48
	アンカーボルトに作用する引張力	T =	1.5835E+04	2.6440E+04
- 概要図				
- コンクリート面圧による底板曲げ強度	底板曲げ応力 (N/mm ²)	$\sigma_b = \left(\frac{u}{t}\right)^2 \left(1 - \frac{u}{3x_n}\right) \sigma_c$ =	84	77
	耐震設計用曲げ許容応力 (N/mm ²)	$f_b = F$ =	245	245
	コンクリート面圧による底板曲げ強度評価	b f_b	合格	合格
- アンカーボルト引張力による底板曲げ応力	底板を柱脚部とアンカーボルトの間の片持ち梁としたとき、柱脚部の位置における曲げモーメント	$M = T \times G$ =	2.3753E+05	3.9660E+05
	アンカーボルトの引張力による底板曲げ応力 (N/mm ²)	$\sigma_b = \frac{6M}{(R + 2G)t^2}$ =	132	220
	耐震設計用許容曲げ応力 (N/mm ²)	$f_b = F$ =	245	245
	アンカーボルトの引張力による底板曲げ応力評価	b f_b	合格	合格