

付3 アンカーボルトの設計

積層ゴム支承のアンカーボルトの設計 (円形フランジプレート)

参照計算式出典：鉄筋コンクリート構造 1975 森北出版

ここでは、積層ゴム支承の取付けボルト、アンカーボルト、フランジプレート、フーチングコンクリート強度の設計を行う。

設計荷重は、告示2009号の計算によって算出した上限性能時の水平せん断力Q、変動軸力 SN、最大応答変形 \max とする。

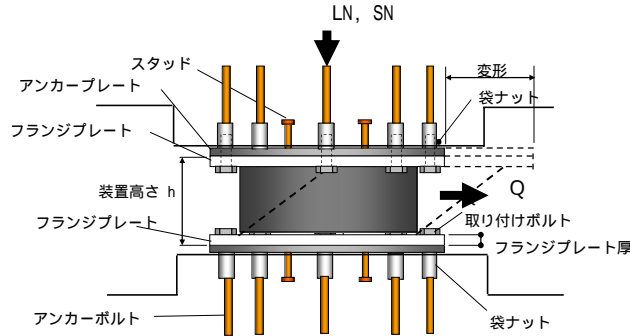
設計方法：アンカーボルト位置を柱主筋位置と見なした円形柱とし、鉄筋コンクリート構造の円柱に関する短期許容軸荷重Naと短期許容曲げモーメントMaの算定式を用いて以下の各部位の応力を算定し許容応力度設計を行う。

ベースプレート下部のコンクリート強度を設計する。

取り付けボルトに発生する軸応力・せん断応力を算定し、ボルトサイズと材質を設計する。

取り付けボルトの作用軸力とその位置から曲げ強度を算定し、フランジプレート厚さを設計する。

アンカーボルトの作用軸力からコンクリート必要定着長さを算定し、アンカーボルト、袋ナットを設計する。



アンカーボルト立面配置図

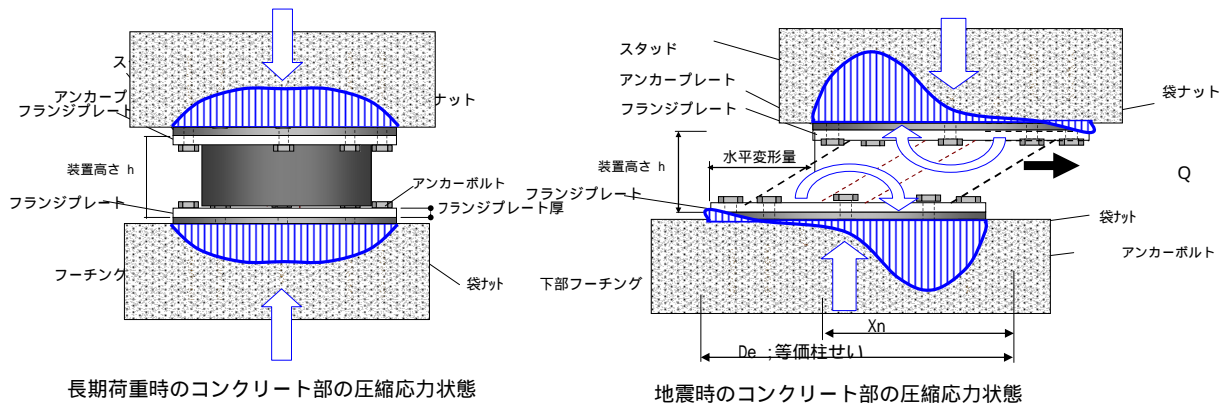
1. 作用外力

安全側の評価から免震部材の水平せん断抵抗は、上限性能時の値、水平変形は、最大応答変形 \max とする。

- 鉛直荷重 (LN: 長期荷重、短期荷重: SN)
- 水平力 $Q = Kh \times \max$
- 付加曲げモーメント $M = Q \times h/2 + SN \cdot \max/2$ h: 免震部材の高さ

2. フーチング断面の許容応力 Na, Ma (RC 丸柱の算定式より)

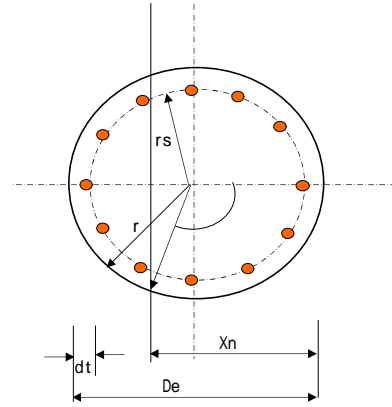
- 許容軸荷重 $Na = \min(Na1, Na2)$
 - $Na1 = f_c \{ (1/3) \sin^2(2 + \cos^2) - \cos - n \cdot Pg \cdot \cos \} De^2 / (4(1 - \cos))$
 - $Na2 = f_t \{ (1/3) \sin^2(2 + \cos^2) - \cos - n \cdot Pg \cdot \cos \} De^2 / (4n(1 + \cos - dt1))$
 - $dt1 = 0.1, n = 15$ (ヤング係数比) De: アンカーボルト位置を主筋位置とした等価円形柱径
- 許容曲げモーメント $Ma = \min(Ma1, Ma2)$
 - $Ma1 = f_c \{ 1/4 + \sin^2 \cdot \cos \{ (1/6) \cos^2 - 5/12 \} + (1/2)n \cdot Pg \cdot (rs/r)^2 \} De^3 / (8(1 - \cos))$
 - $Ma2 = f_t \{ 1/4 + \sin^2 \cdot \cos \{ (1/6) \cos^2 - 5/12 \} + (1/2)n \cdot Pg \cdot (rs/r)^2 \} De^3 / (8n(1 + \cos - dt1))$
 - rs: ボルト配置半径 As: ボルト断面積 Pg: 鉄筋比 $[=As / (De/2)^2]$



De : 仮想柱径 (=2r =Do+4tf 、 2tf:被り厚)

r : = De / 2

中立軸位置比 : Xn1 = 0.5+(1+2·n·Pg (rs/r)2)/(16e1(1+n·pg))



アンカーボルト平面配置と中立軸 X n の設定

3. 取り付けボルト、アンカーボルトの引張応力度

安全側の評価からアンカーボルトに作用する引張力は、取り付けボルトに作用する引張力と同じとする。

ts : 取り付けボルト・アンカーボルトの引張応力度

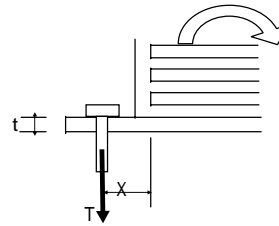
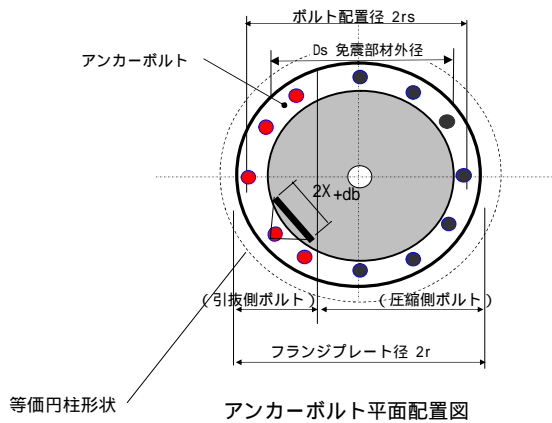
$$ts = M(8(1+\cos dt)) / \{ \sqrt{1 + \sin dt} \cdot \cos dt + ((1/6)\cos dt - 5/12) + (1/2)n \cdot Pg \cdot (rs/r)^2 \} D^3$$

T = ts x Abe : 取り付けボルト・アンカーボルトの引張力

作用曲げモーメント : Mf = TxX, X = (2rs - D) / 2

有効断面係数 Zf = (tf²x(2X + db)) / 6

曲げ応力度 b = Mf / Zf



アンカーボルトの作業軸力

4. 袋ナット、アンカーボルトの定着強度

必要定着長さ Lab = Sx tx(db + dn) / (8xsfca)

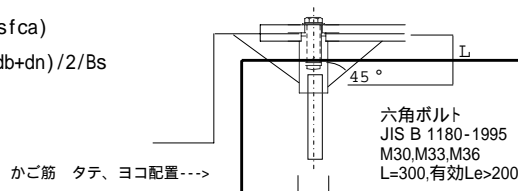
コーン破壊による修正係数 : S = 4(db + dn) / 2 / Bs

db : アンカーボルト径

dn : 袋ナット径

Bs : ボルト間隔

t : 存在応力度



六角ボルト
JIS B 1180-1995
M30, M33, M36
L=300, 有効Le>200

袋ナット径 , 又は六角長ナット
60 (M30, M33, M36)

アンカーボルトのコーン破壊ライン
(積層ゴム)

5. 応力検定

Na > LN (長期)

Ma > M (短期)

f_{ta} > ts (短期)

組み合わせ検討 U = (ts / f_{ta})² + (s / a)² < 1.0 (短期)

							入力部分	
免震部材タイプ		RB90	RB100	S8100	S8110	SC60	SC90	U2426
免震部材の形状・基本性能								
装置径 D =	mm	900	1000	900	900	900	1100	260
部材高さ h =	mm	400	479	142	142	142	146	824
水平剛性(+29%変動考慮) Kh =	kN/mm	1.82	2.04	36.60	36.60	36.60	54.60	33.00
降伏荷重(+29%変動考慮) Qd =	kN	0.00	0.00	120.00	120.00	120.00	120.00	253.00
免震部材に作用する外力								
作用水平せん断力 Q =	kN	473.2	530.4					
長期 作用軸力 LN =	kN	8940	11130	10000	10000	10000	12000	0
短期 作用軸力(圧縮方向) SN =1.3LN + SN	kN	16819	17244	12000	12000	12000	14000	0
短期 作用軸力(引張方向) SN =0.7LN - SN	kN	1061	5016	0	0	0	0	0
変形量(最大応答変形(+変動時)) max (= e)	mm	260	260	500	500	500	500	500
作用曲げモーメント								
接合部に作用する曲げモーメント M =	kN・m	2281	2369					
ここに、M=Qxh/2 + Nx /2、N=0のときの M =	kN・m	95	127					
取り付けボルト・アンカーボルト諸元								
取り付けボルト(アンカーボルト)本数 nb =	本	12	12	12	12	12	12	8
取り付けボルト(アンカーボルト)配置径 2xrs =	mm	1060	1160	1050	1050	1050	1250	600
取り付けボルト(アンカーボルト)配置間隔幅 Bs =	mm	303	331					
取り付けボルト径(アンカーボルト) db =	mm	M33	M36	M30	M30	M30	M30	M36
取り付けボルト(アンカーボルト)有効断面積 Abe =	mm ²	653	777					
全ボルト断面積 Ag=Abe x nb =	mm ²	7835	9324					
取り付けボルト材質……(F8T,SS400相当)		SS400	SS400	F8T	F8T	F8T	F8T	SS400
取り付けボルト短期許容引張応力 fta1 =	N/mm ²	236	236					
取り付けボルト短期許容せん断応力 a1 =	N/mm ²	135	135					
アンカーボルト材質……(異形鉄筋SD390,SS400)		SS400	SS400	F8T	F8T	F8T	F8T	SS400
アンカーボルト短期許容引張応力 fta2 =	N/mm ²	235	235					
アンカーボルト短期許容せん断応力 a2 =	N/mm ²	135	135					
フランジプレート諸元								
フランジ径 Df =	mm	1200	1300	1150	1150	1150	1350	760
フランジ厚 tf =	mm	32	33	25	25	25	25	38
フランジ材質……		SS400	SS400	SS400	SS400	SS400	SS400	SN490
短期許容曲げ応力 fta3 =	N/mm ²	235	235					
袋ナット諸元								
袋ナット径(六角長ナット) dn =	mm	60	60	65	65	65	65	71
袋ナット断面積 Sd =	mm ²	2827	2827					
袋ナット材質……		SS400	SS400	F8T	F8T	F8T	F8T	SS400
袋ナット短期許容引張応力 fta4 =	N/mm ²	235	235					
袋ナット短期許容せん断応力 a4 =	N/mm ²	135	135					
上下フーチングコンクリート強度								
コンクリート強度 Fc =	N/mm ²	36	36	39	39	39	39	39
長期許容圧縮応力 fc=Fc/3 =	N/mm ²	12	12					
短期許容せん断応力 sfcs=2x(0.49+Fc/100)=	N/mm ²	1.7	1.7					
短期許容付着応力 sfca =	N/mm ²	1.80	1.80					
ボルトとコンクリートのヤング係数比 n=		15.0	15.0					
中立軸位置の算定								
等価丸柱径: De=Df + 4xtf = , (r=De/2)	mm	1328	1432					
鉄筋比 Pg=Ag/((De/2) ²)=		0.0057	0.0058					

ボルト縁端距離 $dct=(De-2xrs)/2 = , (=dc , =dt)$	mm	134	136						
$dct1=dct/De =$		0.101	0.095						
有効せい $d = (De - dct) =$	mm	1194	1296						
有効せい比 $d1=d/De =$		0.90	0.91						
断面重心位置比 $g1=g/De = , (g = De/2)$	mm	0.50	0.50						
偏心位置比 $e1 = e/De = , (e = \max)$	mm	0.20	0.18						
中立軸比 : $Xn1 =$		0.826	0.853						
$Xn = Xn1 \times De =$		1097	1221						
$Xn1b = d1/(1+sft/(n \cdot sfc)) =$		0.54	0.55						
耐力の決定状態 $Xn1 < Xn1b$: 鉄筋、		コンクリート	コンクリート						
中立軸位置の位置判定 $e1 > 2(Xn1-0.5)$: 断面内		断面内	断面内						
$Xn1b = d1/(1+ft/(n \cdot fc)) =$		0.53	0.53						
耐力の決定状態 $Xn1 < Xn1b$: 鉄筋、 $Xn1 > Xn1b$: コンクリート		コンクリート	コンクリート						
中立位置角 $=$	rad	2.28	2.35						
長期軸力に対するコンクリート許容耐力 LNaの確認									
・長期軸耐力 $LNa=fc \cdot (De/2)^2 =$	kN	16621	19327						
$LNa > LN$: OK		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
短期許容耐力 Na, Ma(中立軸が断面内の場合)									
・短期許容軸力 $Na= Na1 (Xn1 > Xn1b), =Na2 (Xn1 < Xn1b)$		17480	21153						
コンクリートで決まる耐力 $Na1 =$	kN	17480	21153						
鉄筋で決まる引張耐力 $Na2 =$	kN	63754	98647						
$Na > SN$: OK		OK	OK	-	-	-	-	-	-
・短期許容曲げ耐力 $Ma= Ma1 (Xn1 > Xn1b), =Ma2 (Xn1 < Xn1b)$		3981	4987						
コンクリートで決まる耐力 $Ma1 =$	kN・m	3981	4987						
鉄筋で決まる耐力 $Ma2 =$	kN・m	17361	28632						
$Ma > M$: OK		OK	OK	-	-	-	-	-	-
短期軸力時のアンカーボルト引張り力と検定									
積層ゴムの限界引張面圧時の軸力 $Nt=Ax1.0$	kN	0	0						
取り付けボルト引張り応力度 $ts= ftaxM/Ma2$	N/mm ²	31	19						
アンカーボルトの負担応力 $bs = ts$	N/mm ²	31	19						
$ts < fta1$:OK , $ts > fta1$:NG		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	#REF!
$bs < fta2$:OK , $bs > fta2$:NG		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
取り付けボルト当たりの引張り力 $T= tsxAbe$	kN/本	20.2	15.1						
取り付けボルトせん断応力度 $s=Q/As$	N/mm ²	60.4	56.9						
$s < a1$:OK , $s > a1$:NG		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
組み合わせ検討 $U=(ts/fta1)^2+(s/ a1)^2$		0.217	0.184						
$U < 1.0$ OK , $U > 1.0$ NG		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	#REF!
フランジプレートの設計									
作用曲げモーメント $Mf=TxX, X=(2rs-D)/2$	kN・m	1.61	1.21						
有効断面係数 $Zf=(tf^2 \times (2X+db))/6$	mm ³	38571	42108						
曲げ応力度 $b = Mf/Zf$	N/mm ²	42	29						
$b < fba$ OK , $b > fba$ NG		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	#REF!
袋ナット+アンカーボルト付着長の設計									
最大修正係数 $S =$		0.80	0.80						
(付着時 : 0.8、コーン破壊時 : $=4(db+dn)/2/Bs$)		0.61	0.58						
必要定着長さ $Lab=Sx \quad tx(db+dn)/2/(8xsfca)$	mm	80	50						
設計袋ナット長さ $L (> Lab)$	mm	150	150	-	-	-	-	-	150
アンカーボルト(SS400,M33,M36,Le=200)余長 La	mm	不要-->	不要-->	標準L=300使用				150	300
スタッドボルト 22 (すべり板側のみ)		-	-						
必要袋ナットキャップ径(すべり板側のみ)	mm	80	100						
必要隅肉サイズ $s =$	mm	1.1	0.8						
設計隅肉サイズ $sd (> s) =$		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0
フーチングのせん断許容耐力 SQa 検定									
・短期せん断耐力 $SQa=fs \cdot Rf^2$	kN	2998	3486						
$SQa > SQ$: OK		OK	OK	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!
取り付けボルト強度安全率		0.447	0.421						
フランジプレート強度安全率		0.178	0.122						
フーチングのせん断強度安全率		0.158	0.152						