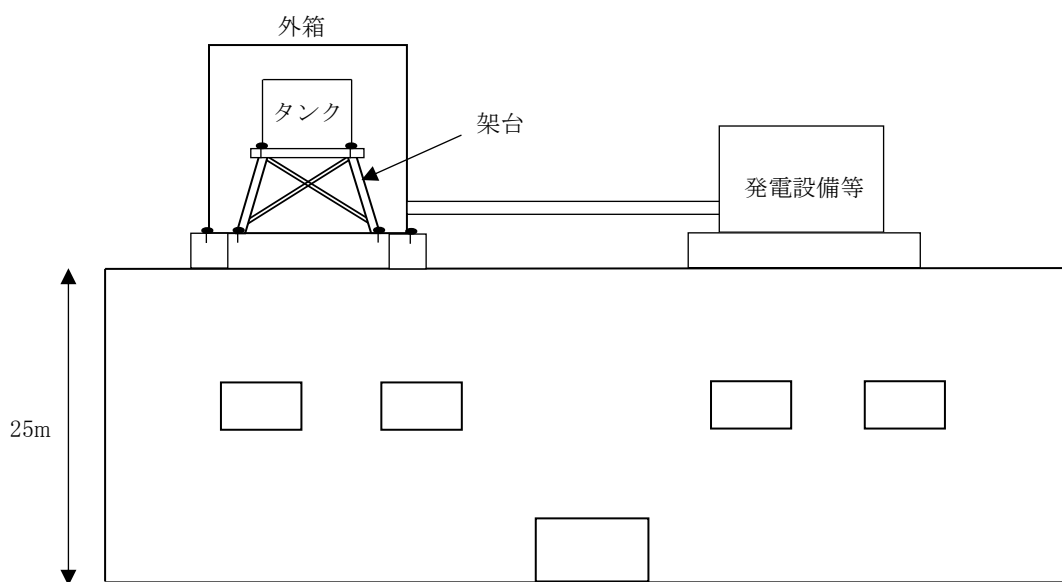


外箱内にタンクを設ける一般取扱所の耐震・耐風構造計算書の作成例

鋼板製の外箱（以下「外箱」という。）内に発電設備等のサービスタンク（以下「タンク」という。）を設ける一般取扱所について、外箱、タンク及び架台を固定するアンカーボルト等が、地震、強風により生じる引抜き力、せん断力を考慮して選定されていることを検討する。

なお、タンク及び架台は、外箱内に設けられていることから、耐風圧に係る計算は省略する。

【参考文献：建築設備耐震設計・施工指針 2014 年版】

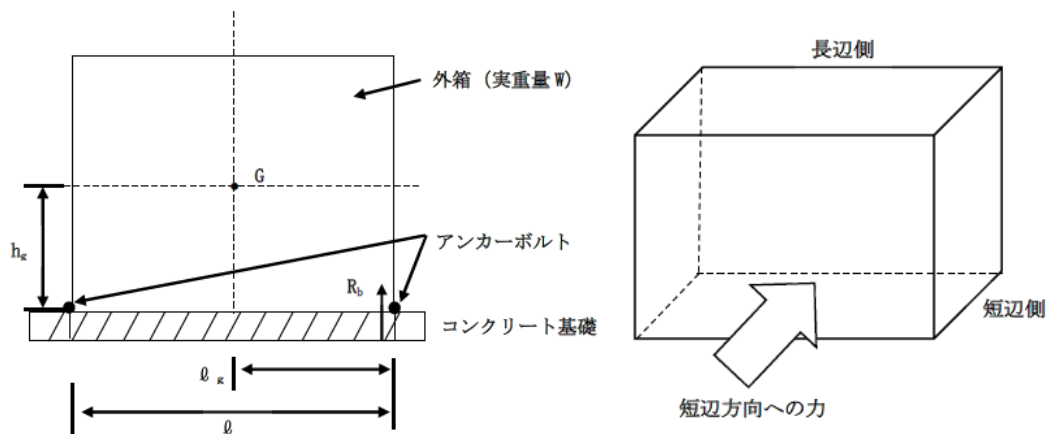


1 外箱の耐震構造計算

地震動による慣性力に対する外箱のボルトの選定を検討する。

(1) 外箱の構造

項目	数値等	単位
外箱寸法	295×220×361.5H	cm
外箱質量(タンク本体、架台を含む。)	2,660	kg
貯蔵する危険物質量	1,696.5 (A重油：比重 0.87)	kg
外箱の総質量(タンク本体、架台、危険物を含む。)	4,356.5 (1950 L満油時)	kg



項目	記号	単位
外箱の重心位置	G	
外箱の実重量	W	kN
アンカーボルト 1 本当たりの引抜き力	R_b	kN
取付面より外箱重心までの高さ	h_g	cm
アンカーボルトスパン	ℓ	cm
アンカーボルト中心から外箱重心までの距離 ($\ell_g \leq \ell/2$)	ℓ_g	cm

(2) 地震力の計算

地震力の計算条件

項目	数値等	記号
設計用水平震度(危告示第 4 条の 23 第 1 号の最大値 0.3 以上)	2.0	K_H
設計用鉛直震度	1.0	K_V

ア 外箱の実重量(W)を計算する

$$\begin{aligned}
 W &= \text{外箱の総質量} \times \text{重力加速度} \\
 &= 4,356.5 \times 9.8 \\
 &= 42,694 \text{ [N]} \\
 &= 42.7 \text{ [kN]}
 \end{aligned}$$

イ 設計用水平地震力(F_H)を計算する。

$$\begin{aligned}
 F_H &= K_H \times W \\
 &= 2.0 \times 42.7 \\
 &= 85.4 \text{ [kN]}
 \end{aligned}$$

ウ 設計用鉛直地震力(F_V)を計算する。

$$\begin{aligned}
 F_V &= K_V \times W \\
 &= 1.0 \times 42.7 \\
 &= 42.7 \text{ [kN]}
 \end{aligned}$$

(3) 外箱を固定するアンカーボルトの選定に係る検討

アンカーボルトの計算条件

項目	数値等	記号	単位
使用ボルト材質・径	SS400・M20		
ボルト断面積	2.45	S	cm ²
ボルトの総本数	8	n	本
ボルトの片側本数（長辺側）	4	n _{tL}	本
ボルトの片側本数（短辺側）	2	n _{tS}	本
ボルトのスパン（長辺側）※	290	ℓ _L	cm
ボルトのスパン（短辺側）※	203	ℓ _S	cm
ボルト中心から外箱重心までの距離（長辺側）	145.0 (ℓ _{gL} ≤ ℓ _L /2)	ℓ _{gL}	cm
ボルト中心から外箱重心までの距離（短辺側）	101.5 (ℓ _{gS} ≤ ℓ _S /2)	ℓ _{gS}	cm
取付面より外箱重心までの高さ	158.3	h _g	cm
引張のみを受けるボルトの許容引張応力度	17.6	f _t	kN/cm ²
せん断のみを受けるボルトの許容せん断応力度	10.1	f _s	kN/cm ²

※中間ボルトは考慮しないものとする。

ア アンカーボルトに作用する引抜き力

- (ア) 短辺方向に生じる水平地震力により、ボルト 1 本あたりに作用する引抜き力(R_{bs})を計算する。

$$\begin{aligned}
 R_{bs} &= \frac{F_H \times h_g - (W - F_V) \times \ell_{gS}}{\ell_S \times n_{tL}} \\
 &= \frac{85.4 \times 158.3 - (42.7 - 42.7) \times 101.5}{203 \times 4} \\
 &= 16.6 \text{ [kN/本]}
 \end{aligned}$$

- (イ) 長辺方向に生じる水平地震力により、ボルト 1 本あたりに作用する引抜き力(R_{bL})を計算する。

$$\begin{aligned}
 R_{bL} &= \frac{F_H \times h_g - (W - F_V) \times \ell_{gL}}{\ell_L \times n_{tS}} \\
 &= \frac{85.4 \times 158.3 - (42.7 - 42.7) \times 145.0}{290 \times 2} \\
 &= 23.3 \text{ [kN/本]}
 \end{aligned}$$

よって、23.3 > 16.6 となるため、ボルトの選定は長辺方向について検討する。

イ アンカーボルトに作用するせん断力

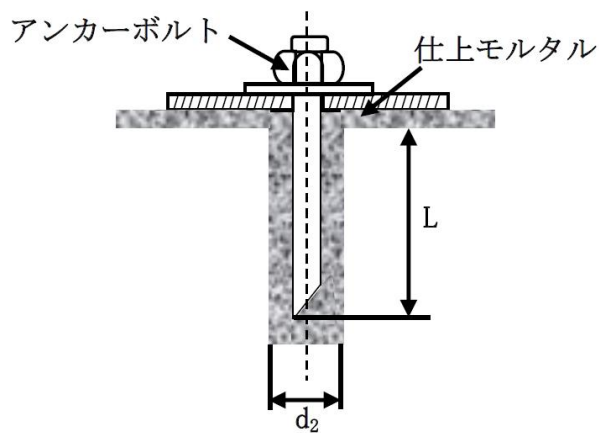
ボルト 1 本あたりに作用するせん断力(Q)を計算する。

$$Q = \frac{F_H}{n}$$

$$= \frac{85.4}{8}$$

$$= 10.7 \text{ [kN/本]}$$

ウ アンカーボルトの許容引抜き荷重



項目	数値等	記号	単位
使用ボルト	あと施工接着系		
設置基礎	堅固な基礎		
ボルトの埋込長	15	L	cm
コンクリート穿孔径	2.3	d ₂	cm
コンクリート設計基準強度	1.8	F _c	kN/cm ²

(ア) アンカーボルトの施工方法等から、ボルトの許容引抜き荷重 (T_a) を計算する。

$$T_a = \frac{F_c}{8} \pi \times d_2 \times L$$

$$= \frac{1.8}{8} \times 3.14 \times 2.3 \times 15$$

$$= 24.4 \text{ [kN]}$$

(イ) T_a ≥ R_{bL} を確認する。

$$24.4 \geq 23.3 \text{ となり OK}$$

エ アンカーボルトの許容応力度

(ア) ボルトに作用するせん断応力度(τ)を計算する。

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{Q}{S} \\ &= \frac{10.7}{2.45}\end{aligned}$$

$$= 4.36 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$$

よって、 τ は4.4 kN/cm²以下となり、引張りとせん断を同時に受けるボルトの許容引張り応力度(f_{ts})= f_t となる。

(イ) ボルトに作用する引張り応力度(σ)を計算する。

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{R_{bL}}{S} \\ &= \frac{23.3}{2.45}\end{aligned}$$

$$= 9.5 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$$

(ウ) $\tau \leq f_s$ 、 $\sigma \leq f_{ts}$ をそれぞれ確認する。

$$4.36 \leq 10.1 \text{ となり OK}$$

$$9.5 \leq 17.6 \text{ となり OK}$$

オ 検討結果

ウ、エより、外箱を固定するアンカーボルトの選定は適当である。

2 外箱の耐風圧構造計算

風圧力に対するアンカーボルトの選定について検討する。

(1) アンカーボルトに作用する引抜き力とせん断力

引抜き力とせん断力の計算条件

項目	数値等	記号	単位
風荷重(危告示第4条の19第1項第2号の値)	2.94	q	kN/m ²
地盤面からの高さ	25		m

ア 外箱の受風面積

(ア) 長辺側の受風面積(A_L)を計算する。

$$\begin{aligned} A_L &= 2.95 \times 3.615 \\ &= 10.7 \text{ [m}^2\text{]} \end{aligned}$$

(イ) 短辺側の受風面積(A_S)を検討する。

$$\begin{aligned} A_S &= 2.2 \times 3.615 \\ &= 8.0 \text{ [m}^2\text{]} \end{aligned}$$

イ アンカーボルトに作用する引抜き力

(ア) 短辺方向に生じる風圧力により、ボルト1本あたりに作用する引抜き力(R_{bS})を計算する。

$$\begin{aligned} R_{bS} &= \frac{q \times A_L \times h_g}{\ell_s \times n_{tL}} \\ &= \frac{2.94 \times 10.7 \times 158.3}{203 \times 4} \\ &= 6.1 \text{ [kN/本]} \end{aligned}$$

(イ) 長辺方向に生じる風圧力により、ボルト1本あたりに作用する引抜き力(R_{bL})を計算する。

$$\begin{aligned} R_{bL} &= \frac{q \times A_S \times h_g}{\ell_L \times n_{tS}} \\ &= \frac{2.94 \times 8.0 \times 158.3}{290 \times 2} \\ &= 6.4 \text{ [kN/本]} \end{aligned}$$

よって、 $6.4 > 6.1$ となるため、引抜き力に係るボルトの選定は長辺方向について検討する。

ウ アンカーボルトに作用するせん断力

- (ア) 短辺方向に生じる風圧力により、ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (Q_s) を計算する。

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{q \times A_L}{n} \\ &= \frac{2.94 \times 10.7}{8} \end{aligned}$$

$$= 3.9 \text{ [kN/本]}$$

- (イ) 長辺方向に生じる風圧力により、ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (Q_L) を計算する。

$$\begin{aligned} Q_L &= \frac{q \times A_s}{n} \\ &= \frac{2.94 \times 8.0}{8} \end{aligned}$$

$$= 2.9 \text{ [kN/本]}$$

よって、 $3.9 > 2.9$ となるため、せん断力に係るボルトの選定は短辺方向について検討する。

(2) 風圧力と地震力の比較

(1)、イ及びウにより算出した風圧力によるボルト 1 本あたりに作用する引抜き力及びせん断力を、1、(3)、ア及びイにより算出した地震力によるボルト 1 本あたりに作用する引抜き力、せん断力と比較する。

$$\text{引抜き力 (R}_{bL}\text{)} \quad 6.4 \text{ [kN]} \leq 23.3 \text{ [kN/本]}$$

$$\text{せん断力 (Q}_s\text{)} \quad 3.9 \text{ [kN]} \leq 10.7 \text{ [kN/本]}$$

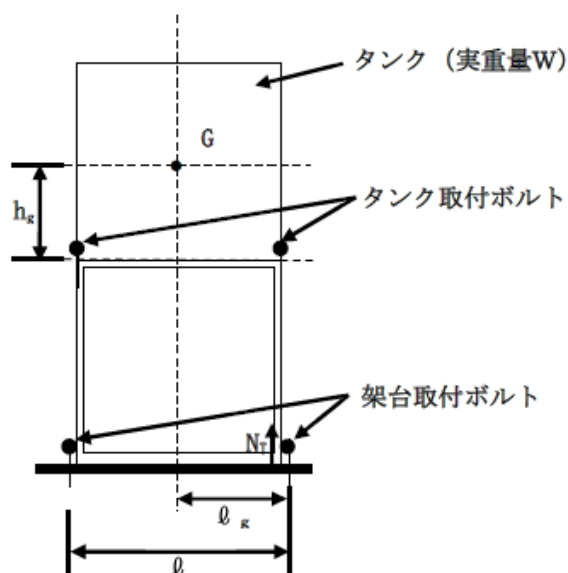
よって、引抜き力とせん断力のいずれも地震力による方が大きいことから、風圧力に対するボルトの選定は省略する。

3 タンク及び架台の耐震構造計算

地震動による慣性力に対するタンク及び架台のボルトの選定を検討する。

(1) タンクの構造

項目	数値等	単位
タンク寸法	110×195×103.3H	cm
タンク容量	1,950	L
架台高さ	87.5	cm
タンク質量	450	kg
架台質量	200	kg
貯蔵する危険物質質量	1,696.5 (A重油：比重 0.87)	kg
タンクの総質量 (架台、危険物を含む。)	2,346.5 (1950 L 満油時)	kg



項目	記号	単位
タンクの重心位置	G	
タンクの実重量	W	kN
取付けボルト 1 本当たりの引抜き力	R_b	kN
取付面よりタンク重心までの高さ	h_g	cm
取付けボルトスパン	l	cm
取付けボルト中心からタンク重心までの距離 ($l_g \leq l/2$)	l_g	cm
取付けボルト 1 本当たりの引抜き力	N_T	kN

(2) 地震力の計算

地震力の計算条件

項目	数値等	記号
設計用水平震度(危告示第4条の23第1号の最大値0.3以上)	2.0	K_H
設計用鉛直震度	1.0	K_V

ア タンクの実重量(W)を計算する

$$\begin{aligned}
 W &= \text{タンクの総質量} \times \text{重力加速度} \\
 &= (2,346.5) \times 9.8 \\
 &= 22,995.7 \text{ [N]} \\
 &= 23.0 \text{ [kN]}
 \end{aligned}$$

イ 設計用水平地震力(F_H)を計算する

$$\begin{aligned}
 F_H &= K_H \times W \\
 &= 2.0 \times 23.0 \\
 &= 46.0 \text{ [kN]}
 \end{aligned}$$

ウ 設計用鉛直地震力(F_V)を計算する。

$$\begin{aligned}
 F_V &= K_V \times W \\
 &= 1.0 \times 23.0 \\
 &= 23.0 \text{ [kN]}
 \end{aligned}$$

(3) タンクを固定する取付けボルトの選定に係る検討

タンク取付けボルトの計算条件

項目	数値等	記号	単位
使用ボルト材質・径	SS400・M12		
ボルト断面積	0.84	S_1	cm^2
ボルトの総本数	6	n	本
ボルトの片側本数(長辺側)	3	n_{tL}	本
ボルトの片側本数(短辺側)	2	n_{ts}	本
ボルトのスパン(長辺側)※	177	ℓ_L	cm
ボルトのスパン(短辺側)※	100	ℓ_s	cm
ボルト中心からタンク重心までの距離($\ell_L/2$)	88.5	ℓ_{gL}	cm
ボルト中心からタンク重心までの距離($\ell_s/2$)	50	ℓ_{gs}	cm
取付け面(タンク底部)からタンク重心までの高さ	51.7	h_g	cm
引張のみを受けるボルトの許容引張応力度	17.6	f_{t1}	kN/cm^2
せん断のみを受けるボルトの許容せん断応力度	10.1	f_{s1}	kN/cm^2

※中間ボルトは考慮しないものとする。

ア タンク取付けボルトに作用する引抜き力

(ア) 短辺方向に生じる水平地震力により、ボルト 1 本あたりに作用する引抜き力 (R_{bs}) を計算する。

$$\begin{aligned} R_{bs} &= \frac{F_H \times h_g - (W - F_V) \times \ell_{gs}}{\ell_s \times n_{tL}} \\ &= \frac{46.0 \times 51.7 - (23.0 - 23.0) \times 50}{100 \times 3} \\ &= 7.9 \text{ [kN/本]} \end{aligned}$$

(イ) 長辺方向に生じる水平地震力により、ボルト 1 本あたりに作用する引抜き力 (R_{bL}) を計算する。

$$\begin{aligned} R_{bL} &= \frac{F_H \times h_g - (W - F_V) \times \ell_{gL}}{\ell_L \times n_{ts}} \\ &= \frac{46.0 \times 51.7 - (23.0 - 23.0) \times 88.5}{177 \times 2} \\ &= 6.7 \text{ [kN/本]} \end{aligned}$$

よって $7.9 > 6.7$ となるため、ボルトの選定は短辺方向について検討する。

イ タンク取付けボルトに作用するせん断力

ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (Q_1) を計算する。

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{F_H}{n} \\ &= \frac{46.0}{6} \\ &= 7.7 \text{ [kN/本]} \end{aligned}$$

ウ タンク取付けボルトの許容応力度

(ア) ボルトに作用するせん断応力度 (τ_1) を計算する。

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{Q_1}{S_1} \\ &= \frac{7.7}{0.84} \\ &= 9.2 \text{ [kN/cm}^2\text{]} \end{aligned}$$

よって、 τ_1 は 4.4kN/cm^2 を超えるため、引張りとせん断を同時に受けるボルトの許容引張り応力度 (f_{ts1}) を算定する。

(イ) f_{ts1} を計算する。

$$\begin{aligned} f_{ts1} &= 1.4f_{t1} - 1.6\tau_1 \\ &= (1.4 \times 17.6) - (1.6 \times 9.2) \\ &= 9.9 \text{ [kN/cm}^2\text{]} \end{aligned}$$

(ウ) ボルトに作用する引張応力度 (σ_1) を計算する。

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{R_{bs}}{S_1} \\ &= \frac{7.9}{0.84} \\ &= 9.4 \text{ [kN/cm}^2\text{]} \end{aligned}$$

(エ) $\tau_1 \leq f_{s1}$ 、 $\sigma_1 \leq f_{ts1}$ をそれぞれ確認する。

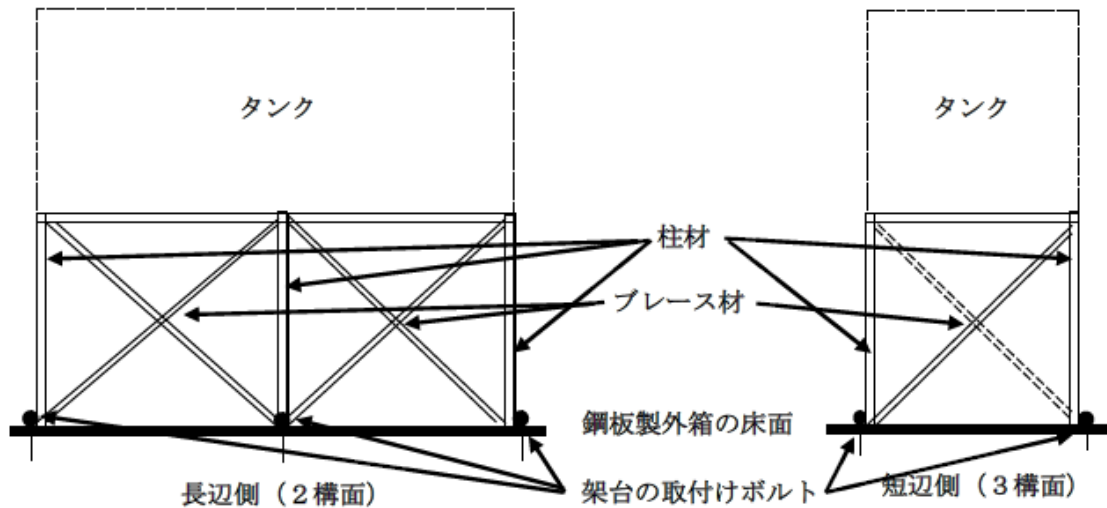
$$9.2 \leq 10.1 \text{ となり OK}$$

$$9.4 \leq 9.9 \text{ となり OK}$$

エ 検討結果

ウより、タンクを固定するタンク取付けボルトの選定は適当である。

(4) 架台を固定する取付けボルトの選定に係る検討



取付けボルトの計算条件

項目	数値等	記号	単位
使用ボルト	あと施工接着系		
使用ボルト材質・径	SS400・M20		mm
架台高さ	87.5	H	cm
柱のスパン（長辺側）※	195	ℓ_x	cm
柱のスパン（短辺側）※	110	ℓ_y	cm
柱1本当たりのボルト本数	1	n_k	本
構面数（長辺側）	2	n_{L1}	枚
構面数（短辺側）	3	n_{S1}	枚
構面（長辺側）の全柱本数	6	n_{L2}	本
構面（短辺側）の全柱本数	6	n_{S2}	本
構面内（長辺側）のブレース材数	4	n_{L3}	本
構面内（短辺側）のブレース材数	3	n_{S3}	本
ボルト断面積	2.45	S_2	cm ²
引張のみを受けるボルトの許容引張応力度	17.6	f_{t2}	kN/cm ²
せん断のみを受けるボルトの許容せん断応力度	10.1	f_{s2}	kN/cm ²

※中間の柱材は考慮しないものとする。

ア タンク底部の転倒モーメント(M)を計算する。

$$\begin{aligned}
 M &= F_H \times h_g \\
 &= 46.0 \times 51.7 \\
 &= 2,378.2 \text{ [kN} \cdot \text{cm]}
 \end{aligned}$$

イ 架台底部の転倒モーメント(M_B)を計算する。

$$\begin{aligned}
 M_B &= M + F_H \times H \\
 &= 2,378.2 + 46.0 \times 87.5 \\
 &= 6,403.2 \text{ [kN} \cdot \text{cm]}
 \end{aligned}$$

ウ 取付けボルトに作用する引抜き力

(ア) 短辺方向に生じる水平地震力により、ボルト1本あたりに作用する引抜き力(N_{TS})を計算する。

$$\begin{aligned}
 N_{TS} &= \frac{M_B}{\ell_y \times n_{S1}} - \frac{W}{n_{S2}} (1 - K_V) \\
 &= \frac{6,403.2}{110 \times 3} - \frac{23.0}{6} (1 - 1.0) \\
 &= 19.4 \text{ [kN]}
 \end{aligned}$$

- (イ) 長辺方向に生じる水平地震力により、ボルト 1 本あたりに作用する引抜き力 (N_{TL}) を計算する。

$$\begin{aligned} N_{TL} &= \frac{M_B}{\ell_x \times n_{L1}} - \frac{W}{n_{L2}} (1 - K_V) \\ &= \frac{6,403.2}{195 \times 2} - \frac{23.0}{6} (1 - 1.0) \\ &= 16.4 \text{ [kN]} \end{aligned}$$

よって $19.4 > 16.4$ となるため、引抜き力に係るボルトの選定は短辺方向について検討する。

エ 取付けボルトに作用するせん断力

- (ア) 短辺方向に生じる水平地震力により、ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (Q_{S2}) を計算する。

$$\begin{aligned} Q_{S2} &= \frac{F_H}{n_k \times n_{S3}} \\ &= \frac{46.0}{1 \times 3} \\ &= 15.3 \text{ [kN]} \end{aligned}$$

- (イ) 長辺方向に生じる水平地震力により、ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (Q_{L2}) を計算する。

$$\begin{aligned} Q_{L2} &= \frac{F_H}{n_k \times n_{L3}} \\ &= \frac{46.0}{1 \times 4} \\ &= 11.5 \text{ [kN]} \end{aligned}$$

よって $15.3 > 11.5$ となるため、せん断力に係るボルトの選定は短辺方向について検討する。

カ 取付けボルトの許容応力度

(ア) ボルトに作用するせん断応力度(τ_2)をする。

$$\begin{aligned}\tau_2 &= \frac{Q_{S2}}{S_2} \\ &= \frac{15.3}{2.45}\end{aligned}$$

$$= 6.2 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$$

よって、 τ_2 は4.4 kN/cm²を超えるため、引張りとせん断を同時に受けるボルトの許容引張り応力度(f_{ts2})を算定する。

(イ) f_{ts2} を計算する。

$$\begin{aligned}f_{ts2} &= 1.4f_{t2} - 1.6\tau_2 \\ &= (1.4 \times 17.6) - (1.6 \times 6.2) \\ &= 14.7 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$$

(ウ) ボルトに作用する引張応力度(σ_2)を計算する。

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \frac{N_{TS}}{S_2} \\ &= \frac{19.4}{2.45}\end{aligned}$$

$$= 7.9 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$$

(エ) $\tau_2 \leq f_{s2}$ 、 $\sigma_2 \leq f_{ts2}$ をそれぞれ確認する。

$$6.2 \leq 10.1 \text{ となり OK}$$

$$7.9 \leq 14.7 \text{ となり OK}$$

キ 検討結果

カより、架台を固定する取付けボルトの選定は適当である。