

耐震又は耐風圧の計算例

1 構造計算

(1) 構造計算

構造計算とは、【告示第4条の23】の式によって、算出された地震力による慣性力又は風荷重とこれに抵抗する力との検討を行うものである。

(2) 風荷重

風荷重は、【告示第4条の19第1項】の式によること。

この場合において、石油コンビナート等防災区域に設置する屋外貯蔵タンクにあつては、1 m²あたり 2.05kN とすること。

2 計算例

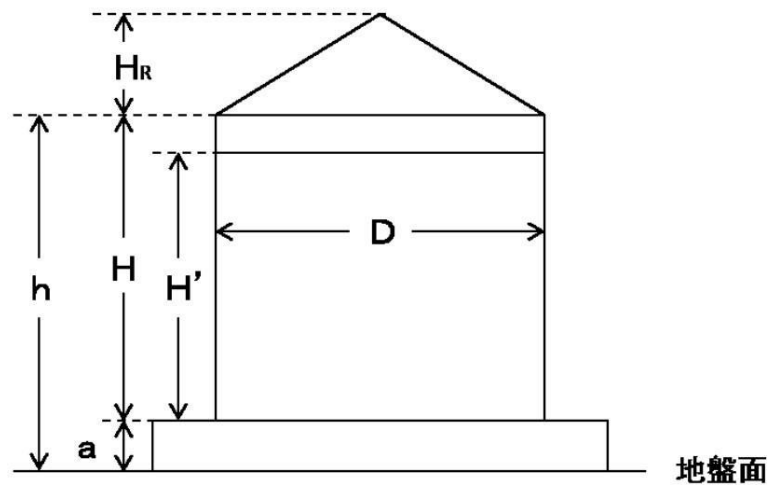
(1) タンク諸元

ア 危険物 ベンゼン (比重 0.88)

貯蔵液体の液比重が 1.0 を満たない場合は、当該比重を 1.0 として計算するよう指導すること。

イ 貯蔵タンク

(ア) タンク容量	390.0 kℓ
(イ) タンク直径 (D)	7.74m
(ウ) タンク高さ (H)	9.024m
(エ) 液面高さ (H')	8.289m
(オ) 屋根高さ (H _R)	0.676m
(カ) 板 厚 (t)	
底 板	6.0mm
側 板	4.5mm
屋根板	4.0mm
(キ) 基礎の高さ (a)	0.3m
(ク) 地盤面からの高さ (h)	9.324m



(2) タンクの自重の計算

ア タンク自重 W_T

屋根板	15kN
ラフタ	14kN
トップアングル	2kN
側板	83kN
底板	22kN
マンホール・ノズル	10kN
手すり・ラダー	16kN
その他	3kN

合 計 $W_T=165\text{kN}$

イ タンク内の重量 (kN)

タンク容量 (L) : $V=390\text{kN}$ 貯蔵液体の比重 : $\rho=1.0$

$$W_L = V \cdot \rho = 390 \times 1.0 \times 9.8 = 3822\text{kN}$$

(3) 風荷重に対する検討

ア 転倒の検討 (空液時)

(ア) 風荷重の計算

1m^2 当たりの風荷重は、次の式によること。

$$q = 0.588k\sqrt{h}$$

q : 風荷重 (単位 kN/m^2)

k : 風力係数 (円筒型タンクの場合は 0.7、円筒型以外のタンク

の場合は 1.0 とする。)

h : 地盤面からの高さ

基礎を含めた高さであり、タンクの高さではないので留意すること。

今回は、臨海コンビナート区域に設置されているとして q は、 2.05kN/m^2 とするので計算を省略する。

a タンクの垂直断面積

A : タンクの垂直断面積 (m^2)

タンクの直径×タンクの高さ+屋根の円錐部であるが、タンクの屋根の頂部までを垂直断面積としてもよい。

$$A=7.74 \times 9.7=75\text{m}^2$$

b 風圧力

$$P_w = q \times A$$

P_w : 風力圧 (kN)

q : 風荷重 (kN/m_2)

A : タンクの垂直断面積 (m^2)

$$P_w = q \times A = 2.05 \times 75 = 153.75$$

(イ) モーメントの計算

a 転倒モーメント

$$M_w = P_w \times H/2$$

M_w : 転倒モーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

P_w : 風圧力 (kN)

H : タンクの高さ (m)

$$M_w = P_w \times H/2 = 153.75 \times 9.024/2 = 693.72$$

b 抵抗モーメント

$$M_{wr} = W_T \times D/2$$

M_{wr} : 抵抗モーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

W_T : タンクの自重 (kN)

風荷重の計算には、内容物の重量を加算しないように留意すること。

D : タンクの直径 (m)

$$M_{wr} = W_T \times D/2 = 165 \times 7.74/2 = 638.55$$

c 転倒の有無

$M_w > M_{wr}$ の場合は、転倒する。

風荷重によるモーメントの計算結果から、

$M_w (693.72\text{kN} \cdot \text{m}) > M_{wr} (638.55\text{kN} \cdot \text{m})$ となり、転倒することとなる。

イ 滑動の検討（空液時）

（ア） 滑動力の計算

$$H_w = P_w$$

H_w : 滑動力 (kN)

P_w : 風圧力 (kN)

$$H_w = P_w = 153.75$$

（イ） 抵抗力の計算

$$H_{wr} = W_T \times \mu$$

H_{wr} : 抵抗力 (kN)

W_T : タンクの自重 (kN)

μ : タンク底板と基礎上面との摩擦係数 0.5

$$H_{wr} = W_T \times \mu = 165 \times 0.5 = 82.5$$

（ウ） 滑動の有無

$H_w > H_{wr}$ の場合は、滑動する。

滑動力と抵抗力の計算結果から、

$H_w (153.75\text{kN}) > H_{wr} (82.5\text{kN})$ となり、滑動することとなる。

（４） 地震時に対する検討

ア 転倒の検討（満液時）

（ア） 設計震度

K_h （設計水平震度）を 0.3 とする。

K_v （設計鉛直震度）を 0.15 とする。

（イ） モーメントの計算

a 転倒モーメント

$$M_e = (W_T \times K_h \times H/2) + (W_L \times K_h \times H'/2)$$

M_e : 転倒モーメント (kN・m)

W_T : タンクの自重 (kN)

K_h : 設計水平震度

H : タンク高さ (m)

W_L : タンク内容物の重量 (kN)

H' : タンクの液面高さ (m)

$$\begin{aligned} M_e &= (W_T \times K_h \times H/2) + (W_L \times K_h \times H'/2) \\ &= (165 \times 0.3 \times 9.024/2) + (3822 \times 0.3 \times 8.289/2) \end{aligned}$$

$$=4975.43$$

b 抵抗モーメント

$$M_{er} = (W_T + W_L) \times (1 - K_v) \times D/2$$

M_{er} : 抵抗モーメント (kN・m)

W_T : タンクの自重 (kN)

W_L : タンク内容物の重量 (kN)

K_v : 設計鉛直震度

D : タンクの直径 (m)

$$M_{er} = (W_T + W_L) \times (1 - K_v) \times D/2$$

$$= (165 + 3822) \times (1 - 0.15) \times 7.74/2$$

$$=13115.2$$

c 転倒の有無

$M_{er} > M_e$ の場合は、転倒しない。

M_{er} (13115.2kN・m) $> M_e$ (4975.43kN・m) となり、転倒しない。

イ 滑動の検討 (満液時)

(ア) 滑動力の計算

$$H_e = K_h (W_T + W_L)$$

H_e : 滑動力 (kN)

K_h : 設計水平震度

W_T : タンクの自重 (kN)

W_L : タンク内容物の重量 (kN)

$$H_e = K_h (W_T + W_L)$$

$$= 0.3 \times (165 + 3822)$$

$$=1196.1$$

(イ) 抵抗力の計算

$$M_{er} = \mu (W_T + W_L) (1 - K_v)$$

M_{er} : 抵抗力 (kN・m)

μ : タンク底板と基礎上面との摩擦係数 0.5

W_T : タンクの自重 (kN)

W_L : タンク内容物の重量 (kN)

K_v : 設計鉛直震度

$$M_{er} = \mu (W_T + W_L) (1 - K_v)$$

$$= 0.5 \times (165 + 3822) \times (1 - 0.5)$$

$$=1694.48$$

(ウ) 滑動の有無

$M_{er} > H_e$ の場合は、滑動しない。

$M_{er} (1694.48\text{kN}) > H_e (1196.1\text{kN})$ となり、滑動しない。

(5) アンカーボルトの検討

上記の計算結果から、風圧力に対して転倒及び滑動することが確認でき、地震時に対しては、転倒及び滑動しないことが得られた。したがって、アンカーボルトの検討においては風圧力に対してアンカーボルトを検討するものとする。

ア アンカーボルトの強度

- (ア) 使用ボルト M20
- (イ) ボルトの本数 $N : 8$ 本
- (ウ) ボルトの谷断面積 $A : 225\text{mm}^2$
- (エ) ボルトの許容せん断力 $\tau_a : 0.1254\text{kN/mm}^2$
- (オ) ボルトの許容引張応力 $\sigma_a : 0.1568\text{kN/mm}^2$

イ ボルト 1 本当たりにかかる引張応力

ボルトの $P \cdot C \cdot D$ (ボルト間直径) : 7.85m

(ア) 引抜力の計算

$$F = 1/N \times (4 \times M_w/D - W_T)$$

F : 引抜力 (kN)

N : ボルトの本数

M_w : 転倒モーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

W_T : タンクの自重 (kN)

$$F = 1/N \times (4 \times M_w/D - W_T)$$

$$= 1/8 \times (4 \times 693.72/7.85 - 165)$$

$$= 23.56$$

(イ) 引張応力

$$\sigma_t = F/A$$

σ_t : 引張応力 (kN/mm^2)

F : 引抜力 (kN)

A : ボルトの谷断面積 (mm^2)

$$\sigma_t = F/A = 23.56/225 = 0.1047$$

$\sigma_a > \sigma_t$ である場合は、ボルトが切れない。

$\sigma_a (0.1568\text{kN/mm}^2) > \sigma_t (0.1047\text{kN/mm}^2)$ となり、ボルトによる補強によって、転倒しない。

ウ ボルト 1 本当たりにかかるせん断力

$$\tau = (H_w - H_{wr}) / (A \times N)$$

τ : せん断力 (kN/mm^2)

H_w : 滑動力 (kN)

H_{wr} : 抵抗力 (kN)

A : ボルトの谷断面積 (mm^2)

N : ボルトの本数

$$\begin{aligned}\tau &= (H_w - H_{wr}) / (A \times N) \\ &= (153.75 - 82.5) / (225 \times 8) \\ &= 0.0396\end{aligned}$$

$\tau_a > \tau$ である場合は、せん断をしない。

τ_a (0.1254kN/mm^2) $>$ τ (0.0396kN/mm^2) となり、ボルトによる補強によって滑動しない。