

## 1 3 屋外貯蔵タンクの耐震及び耐風圧構造計算例

### 1 計算の基礎

(1) 計算はまず、下記の①から⑤を求める。

- ① 告示第4条の23第1項第2号の風荷重
- ② 告示第4条の23第1項第1号の地震による慣性力
- ③ ①及び②による力が、タンクの側面にかかる横荷重（以下「滑動力」という。）
- ④ ①及び②による力が、タンクの重心（中心点）にかかる転倒モーメント
- ⑤ ③に抵抗する力及び④に抵抗するモーメント（以下「抵抗力」及び「抵抗モーメント」という。）

これら求め、⑤の抵抗力及び抵抗モーメントが③及び④に対して、安全（タンクが安定）であるかどうかの検討を行う。

(2) この結果、⑤の抵抗力及び抵抗モーメントが、③の滑動力及び④の転倒モーメントよりも大きい場合は、タンクを補強する必要はない。滑動力又は転倒モーメントが抵抗力又は抵抗モーメントよりも大きい場合は、ボルト等によりタンクを固定する補強を要する。

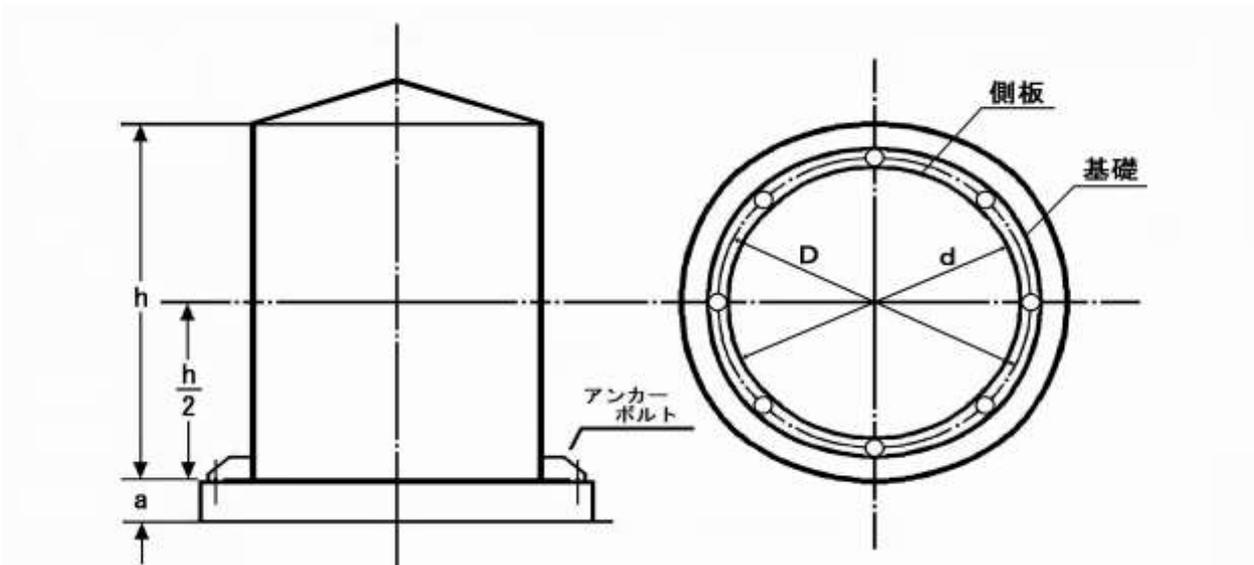
(3) 石油コンビナート等特別防災区域に設置するタンクにあつては、風荷重を  $2.05\text{kN/m}^2$  とすること。ただし、架構内にある20号タンクはこの限りでない。

(4) タンクの静止摩擦係数は、鋼面とアスファルトサンドの場合で、 $0.5\sim 0.6$  程度とするのが妥当である。ただし、実験値等の添付により、 $0.6$  以上の静止摩擦係数を用いることができる。

(5) 開放点検時等の空液時の滑動対策がとられているのならば、準特定屋外タンク貯蔵所の風荷重に対する滑動の検討において、払い出しノズルで払い出しのできない危険物（デッドストック）の重量を滑動に対する抵抗力に算入して差し支えない。（H. 11. 6. 15 消防危第58号質疑）

### 2 計算例

— 想定 —（タンクの構造）



タンク容量	V : 105kl
タンク直径	d : 4.842m (側板の板厚を含む)
タンク高さ	h : 6.105m (底板の板厚を含む)
基礎の高さ	a : 0.30m
タンク自重	W <sub>1</sub> : 102.8N
タンクの形状係数	c : 0.7
液比重	s : 0.91
液総重量	W <sub>2</sub> : 937N
固定ボルト間の直径	D : 5.2m
静止摩擦係数	f : 0.5

(1) 風荷重に対する検討 (空液時)

ア 滑動についての検討

風荷重 q は

$$\begin{aligned}
 q &= 0.588 c \sqrt{h + a} \\
 &= 0.588 \times 0.7 \times \sqrt{6.105 + 0.30} \\
 &\doteq 1.05 \text{ (kN/m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

受圧面積は,

$$\begin{aligned}
 A &= d \times h \\
 &= 4.842 \times 6.105 \\
 &\doteq 29.56 \text{ (m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

よって、風による滑動力 F<sub>1</sub> は,

$$\begin{aligned}
 F_1 &= q \times A \\
 &= 1.05 \times 29.56 \\
 &\doteq 31.1 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

また、これに対する抵抗力 F<sub>2</sub> は,

$$\begin{aligned}
 F_2 &= W_1 \times f \\
 &= 102.8 \times 0.5 \\
 &= 51.4 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

∴ F<sub>1</sub> < F<sub>2</sub> より安定

イ 転倒についての検討

風荷重による転倒モーメント M<sub>1</sub> は,

$$\begin{aligned}
 M_1 &= 1/2 \times h \times F_1 \\
 &= 1/2 \times 6.105 \times 31.1 \\
 &\doteq 95.0 \text{ (kN} \cdot \text{m)}
 \end{aligned}$$

これに対する抵抗モーメント M<sub>2</sub> は,

$$\begin{aligned}
 M_2 &= 1/2 \times d \times W_1 \\
 &= 1/2 \times 4.842 \times 102.8 \\
 &\doteq 248.8 \text{ (kN} \cdot \text{m)}
 \end{aligned}$$

∴ M<sub>1</sub> < M<sub>2</sub> より安定

(2) 地震に対する検討 (空液時)

ア 滑動についての検討

地震による滑動力  $F_{e1}$  は,

$$\begin{aligned} F_{e1} &= W_1 \times Kh \\ &= 102.8 \times 0.3 \\ &\doteq 30.9 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

これに対する抵抗力  $F_{e2}$  は,

$$\begin{aligned} F_{e2} &= W_1 \times (1 - Kv) \times f \\ &= 102.8 \times (1 - 0.15) \times 0.5 \\ &\doteq 43.6 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$\therefore F_{e1} < F_{e2}$  より安定

イ 転倒についての検討

地震による転倒モーメント  $M_{e1}$  は,

$$\begin{aligned} M_{e1} &= 1/2 \times h \times F_{e1} \\ &= 1/2 \times 6.105 \times 30.9 \\ &\doteq 94.4 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \end{aligned}$$

これに対する抵抗モーメント  $M_{e2}$  は,

$$\begin{aligned} M_{e2} &= 1/2 \times d \times W_1 \times (1 - Kv) \\ &= 1/2 \times 4.842 \times 102.8 \times (1 - 0.15) \\ &\doteq 211.5 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \end{aligned}$$

$\therefore M_{e1} < M_{e2}$  より安定

(3) 地震に対する検討 (満液時)

ア 滑動についての検討

地震による滑動力  $F_{f1}$  は,

$$\begin{aligned} F_{f1} &= (W_1 + W_2) \times Kh \\ &= (102.8 + 937.0) \times 0.3 \\ &\doteq 312.0 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

これに対する抵抗力  $F_{f2}$  は,

$$\begin{aligned} F_{f2} &= (W_1 + W_2) \times (1 - Kv) \times f \\ &= (102.8 + 937.0) \times (1 - 0.15) \times 0.5 \\ &\doteq 441.9 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$\therefore F_{f1} < F_{f2}$  より安定

イ 転倒についての検討

地震による転倒モーメント  $M_{f1}$  は,

$$\begin{aligned} M_{f1} &= 1/2 \times h \times F_{f1} \\ &= 1/2 \times 6.105 \times 312.0 \\ &\doteq 952.4 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \end{aligned}$$

これに対する抵抗モーメント  $M_{f2}$  は,

$$\begin{aligned} M_{f2} &= 1/2 \times d \times (W_1 + W_2) \times (1 - Kv) \\ &= 1/2 \times 4.842 \times (102.8 + 937.0) \times (1 - 0.15) \\ &\doteq 2139.7 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \end{aligned}$$

$\therefore M_{f1} < M_{f2}$  より安定

ここでは計算例として、滑動力及び転倒モーメントは少数点第2位以下を切り上げ、抵抗力及び

抵抗モーメントは小数点第 2 位以下を切り捨てた。

なお、これらの計算式は、別紙 1 のような一覧表で提出してもよい。

別紙 1

タンク概要	実容量	V		105 kl
	タンク直径	d	側板の板厚を含む	4.842 m
	タンク高さ	h	底板の板厚を含む	6.105 m
	タンク自重	$W_1$		102.8 N
	液比重	s		0.91
	液総重量	$W_2$	$V \times s$	937.0 N
	タンクの基礎の高さ	a		0.3 m
設計条件	タンクの静止摩擦係数	f		0.5
	設計水平震度	Kh	$0.15 \times \nu_1 \times \nu_2$	0.3
	設計垂直震度	Kv	Kh / 2	0.15
	タンクの形状係数	c	円筒形のタンクの場合	0.7

※  $\nu_1$  及び  $\nu_2$  については、告示第 4 条の 20 第 2 項参照のこと

風に対する安定性	すべり	風荷重	$q = 0.588 c \sqrt{h+a}$	1.05kN/m <sup>2</sup>	
		受圧面積	$A = h \times d$	29.56 m <sup>2</sup>	
		風による滑動力	$F_1 = q \times A$	31.1kN	
		抵抗力	$F_2 = W_1 \times f$	51.4kN	
		安定性	$F_1 < F_2$	安定	
	転倒	風による転倒モーメント	$M_1 = 1/2 \times h \times F_1$	95.0kN・m	
		抵抗モーメント	$M_2 = 1/2 \times d \times W_1$	248.8kN・m	
		安定性	$M_1 < M_2$	安定	
	地震力に対する安定性	空液時	すべり	地震による滑動力	$F_{e1} = W_1 \times Kh$
抵抗力				$F_{e2} = W_1 \times (1 - Kv) \times f$	43.6kN
安定性				$F_{e1} < F_{e2}$	安定
転倒		地震による転倒モーメント	$M_{e1} = 1/2 \times h \times F_{e1}$	94.4kN・m	
		抵抗モーメント	$M_{e2} = 1/2 \times d \times W_1 \times (1 - Kv)$	211.5kN・m	
		安定性	$M_{e1} < M_{e2}$	安定	
満液時		すべり	地震による滑動力	$F_{f1} = (W_1 + W_2) \times Kh$	312.0kN
			抵抗力	$F_{f2} = (W_1 + W_2) \times (1 - Kv) \times f$	441.9kN
			安定性	$F_{f1} < F_{f2}$	安定
	転倒	地震による転倒モーメント	$M_{f1} = 1/2 \times h \times F_{f1}$	952.4kN・m	
		抵抗モーメント	$M_{f2} = 1/2 \times d \times (W_1 + W_2) \times (1 - Kv)$	2139.7kN・m	
		安定性	$M_{f1} < M_{f2}$	安定	

### 3 アンカーボルトの検討

- (1) 1 (1) ③から⑤で求めたものについて、抵抗力及び抵抗モーメントが滑動力及び転倒モーメントよりも大きい場合は補強の必要はない。滑動力及び転倒モーメントが抵抗力及び抵抗モーメントよりも大きい場合は、ボルト等によりタンクの周囲を基礎に固定し、ボルトの強度が滑動力又は転倒モーメント（抵抗力及び抵抗モーメントを差し引いたもの）に耐えうるようにその数及び径（谷径）を決定する。
- (2) ボルトの強度は、滑動の場合はせん断力、転倒の場合は引張応力を考慮すればよい。この場合、許容応力は短期許容応力で考慮して差し支えない。また、ボルトの材質や設置状況等により、許容応力や計算式が異なることもあるが、実状に合わせた計算式や数値を用いること。
- (3) アンカーボルトは、タンクの底板と側板の溶接に悪影響を及ぼさないように設置すること。例えば、側板からブラケットをとり、そのブラケットとタンクの基礎とをアンカーボルトで固定するような設置方法が望ましい。（第2章第4節「屋外タンク貯蔵所の基準」11（2）参照）

### 4 アンカーボルトの計算例

- (1) 滑動力に対するアンカーボルトの検討（風荷重による滑動の場合）

いま、風荷重による滑動力 $F_1=50$  (kN) , 抵抗力 $F_2=40$  (kN) とする。

このタンクの補強は、次の式を満足するようにアンカーボルトを設置すればよい。

$$F_b = \frac{F_1 - F_2}{N} < F_a = \tau_a \times A_b$$

$F_b$	:	アンカーボルト1本に働くせん断力	kN
$F_1$	:	滑動力	kN
$F_2$	:	抵抗力	kN
$N$	:	アンカーボルトの本数	本
$F_a$	:	アンカーボルト1本の許容せん断力	kN
$\tau_a$	:	許容せん断力	N/mm <sup>2</sup>
$A_b$	:	アンカーボルトの有効断面積	mm <sup>2</sup>

ここで、アンカーボルトM16×130 L, 材質 SS400（許容せん断応力 60N/mm<sup>2</sup>）を8箇所に設置するとすると、

$$\begin{aligned} F_1 &= 50 && \text{kN} \\ F_2 &= 40 && \text{kN} \\ N &= 8 && \text{本} \\ \tau_a &= 60 && \text{N/mm}^2 \\ A_b &= 185 && \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$F_b = \frac{F_1 - F_2}{N} = \frac{50 - 40}{8} = 1.25 \text{ kN}, \quad F_a = \tau_a \times A_b = 60 \times 185 = 11,100 \text{ N} = 11.1 \text{ kN}$$

∴  $F_b=1.25 < F_a=11.1$  を満足するため、このアンカーボルトの材質、径及び本数は、タンクを固定するのに十分である。

- (2) 転倒に対するアンカーボルトの検討（満液時における地震による転倒の場合）

いま、地震による転倒モーメントが $M_{f1}=50$  (kN・m) , 抵抗モーメントが $M_{f2}=40$  (kN・m) とする。

このタンクの補強は、次の式を満足するようにアンカーボルトを設置すればよい。

$$F = \frac{1}{N} \left( \frac{4 M_{f1}}{D} - W \right) < F_a = \tau_a \times A_b$$

$F$	:	アンカーボルト1本にかかる荷重	kN
-----	---	-----------------	----

N	: アンカーボルトの本数	本
$M_{f1}$	: 転倒モーメント	kN・m
D	: アンカーボルト間の直径	m
W	: タンクの総重量	kN
$F_a$	: アンカーボルト 1 本の許容引張応力	kN
$\tau_a$	: 引張応力	kN/mm <sup>2</sup>
$A_b$	: アンカーボルトの有効断面積	mm <sup>2</sup>

ここで、アンカーボルトM16×130L、材質 SS400（許容引張応力 100N/mm<sup>2</sup>）を 8 箇所に設置するとすると、

$$\begin{aligned} N &= 8 \quad \text{本} \\ M_{f1} &= 50 \quad \text{kN}\cdot\text{m} \\ D &= 5.2 \quad \text{m} \\ W &= 1.04 \quad \text{kN} \\ \tau_a &= 100 \quad \text{N/mm}^2 \\ A_b &= 185 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$F = \frac{1}{8} \left( \frac{4 \times 50}{5.2} - 1.04 \right) \doteq 4.7 \text{kN} \quad , \quad F_a = 0.1 \times 185 = 18,500 \text{N} = 18.5 \text{kN}$$

∴  $F = 4.7 < F_a = 18.5$  を満足するため、このアンカーボルトの材質、径及び本数は、タンクを固定するのに十分である。