

3. 設計

3.1 設計一般

圧力容器の設計に当たっては、次の 3.2 から 3.16 の設計基準に従って設計しなければならない。

3.2 設計で考慮する荷重

考慮すべき荷重は、次による。

- (1) 内圧、外圧、圧力容器の自重及び運転時並びに試験時における内容物重量
- (2) 外部機器より付加される荷重
- (3) 風荷重及び地震荷重
- (4) 温度変化、温度勾配により生じる熱負荷
- (5) 急激な圧力変化を含む衝撃荷重
- (6) 焼きばめ、圧入、自緊圧力等、製作中に生じる荷重として作用するもの。

3.3 腐れ代

胴その他圧力を受ける部分に使用する材料の腐れ代は、1mm 以上としなければならない。

ただし、腐食が予想されない材料（炭素鋼及び低合金鋼を除く）は、この限りでない。

3.4 基本的な設計要求

設計にあたっては、次の要求を満たさなければならない。ただし、構造が特殊な形状で本基準に適用される算定式がない場合には、詳細な応力解析によって設計する。

この項で用いる記号の意味は次による。

F : ピーク応力 (N/mm²)

k : 係数

Q : 二次応力 (N/mm²)

P_b : 一次曲げ応力 (N/mm²)

P_L : 一次局部膜応力 (N/mm²)

P_m : 一次一般膜応力 (N/mm²)

S_{eq} : 等価応力強さ振幅 (N/mm²)

S_u : 引張強さ (N/mm²)

S_y : 降伏点又は 0.2%耐力 (N/mm²)

α : 形状係数で完全な塑性断面（加工硬化なし）を形成するモーメントと初期降伏を形成する曲げモーメントの比（矩形断面の場合は 1.5 とする。）

- (1) 外径と内径の比が 1.5 を超える円筒胴又は球形胴は、3.5 の弾塑性解析を実施する。
- (2) 設計は、最も厳しい荷重の組み合わせに関して適用される要求事項及び次の応力強さ（主応力差の絶対値）制限を満足するようになされること。（表 3.1 を参照）
 - (a) 一次応力強さは、次の制限を満足すること。

① 一次一般膜応力強さ $\leq \frac{kS_y}{1.5}$

- ② 一次局部膜応力強さ $\leq kS_y$
 - ③ 一次局部膜応力強さ + 一次曲げ応力強さ $\leq \alpha \frac{kS_y}{1.5}$
- (b) 純せん断を受ける断面の平均一次せん断応力は、次の制限を満足すること。ねじ部については、3.10による。
平均一次せん断応力 $\leq 0.4S_y$
- (c) 支圧応力は、次の制限を満足すること。
- ① 平均支圧応力 $\leq S_y$
 - ② 平均せん断応力（一次） $\leq 0.4S_y$
 - ③ 平均せん断応力（一次+二次） $\leq 0.5S_y$
 - ④ ピンの支圧応力 $\leq S_y$
- (d) 二次応力強さは、次の制限を満足すること。
一次応力強さ+二次応力強さ $\leq 2S_y$
- (e) 三軸応力は、次の制限を満足すること。
3つの主応力（一次，二次，ピークを含む）の代数和 $\leq 2.5S_y$

表 3.1 応力分類と応力強さの制限[†]

応力分類	一次応力			二次応力 膜応力+曲げ応力	ピーク応力
	一般膜応力	局部膜応力	曲げ応力		
	断面における一次応力の平均値。構造不連続及び応力集中を除く。機械的荷重によって生じるものだけをとる。	任意の断面における応力の平均値。構造不連続は考慮するが応力集中は除く。機械的荷重によって生じるものだけをとる。	断面の図心からの距離に比例する一次応力の成分。構造不連続及び応力集中を除く。機械的荷重によって生じるものだけをとる。	構造の連続性を保つために生じる自己平衡応力で構造不連続部に生じる。機械的荷重及び熱膨張差によって生じるものを取り、局部的応力集中を除く。	(1) 応力集中によって一次又は二次応力に付加される増加分（例えば、切欠きのような場合） (2) 疲労のおそれはあるが容器のゆがみを生じるおそれがない熱応力。
記号	P_m	P_L	P_b	Q (1)	F (1)
応力成分の組合せ及び応力強さの許容限界	<p>——— 設計荷重使用 運転荷重使用</p>				

注 (1) 分類 Q の応力は、温度こう配や構造不連続などによる応力の合計から同じ位置の一次応力を除いたものである。しかし、詳細解析による応力はしばしば（一次応力+二次応力）を直接示すことがあり、その場合は、 Q だけでなく P_m （又は P_L ）+ P_b + Q の合計応力を表す。同様に分類 F の応力が応力集中によるものの場合、 F は公称応力以上の付加応力を指す。例えば、その部分が公称応力 S 及び応力集中係数 K である場合には、 $P_m=S$ 、 $P_b=0$ 、 $Q=0$ 、 $F=P_m (K \cdot 1)$ となり、ピーク応力は $P_m + P_m (K \cdot 1) = KP_m$ となる。

注 (2) 係数 k は、下記による。

- (a) 材料の引張強さに対する最小規定降伏点又は 0.2% 耐力の比が、0.7 以下の場合、 $k=1.0$
- (b) 材料の最小規定引張強さに対する最小規定降伏点又は 0.2% 耐力の比が、0.7 を超える場合

$$k = \frac{1 + \left[\left(0.5 - 0.5 \frac{S_y}{S_u} \right) / 0.3 \right]}{1.5}$$

注 (3) この制限は応力強さの全変動範囲に適用する。許容限界として用いる S_y 値は二次応力が温度変動によるときは、変動する金属温度の最高・最低温度に対する S_y 値の平均値とし、二次応力の一部又は全部が機械的な荷重によるときは、変動する金属温度の最高温度に対する S_y 値とする。

注 (4) α は、形状係数で、完全塑性（加工硬化なし）となるモーメントと初期降伏を生じさせる曲げモーメントの比である。矩形では 1.5 とする。

注 (5) S_{eq} は設計疲労曲線から得られる。全変動範囲に対する許容応力強さは $2 S_{eq}$ である。3.15 及び 3.16 の要求事項を満足すること。

注 (6) 四角棒中の P_m 、 P_L 、 P_b 、 Q 及び F は、単一応力ではなく、応力強さを表す。

3.5 弾塑性解析

弾塑性有限要素法，差分法等の数値解析法による極限解析が行われて，その結果が次の

(1) から (6) を満足するのであれば，3.4 (2) の応力強さ制限は満たされなくてもよい。

- (1) 崩壊荷重に対する安全率は少なくとも 1.732 であること。
- (2) 安全率は，次の大きい方の荷重に対して少なくとも 1.732 を適用する。
 - ① 5%を超える歪みを生じる荷重
 - ② 全断面に降伏を生じる荷重
- (3) 水圧試験及び自緊後の最大運転荷重 2 サイクル以内でシェークダウンを示すこと。
- (4) 3.15 による疲労評価及び 3.16 による破壊力学評価が行われること。
- (5) 適用される設計荷重に対し，また，水圧試験圧力，自緊荷重の負荷時に容器部品及びシール材の性能に係る変位を考慮すること。
- (6) 主応力の代数和が $2.5 S_y$ を超えないこと。

3.6 内圧を受ける胴及び鏡板

この項で用いる記号の意味は次による。

D_i : 内径 (mm)

D_o : 外径 (mm)

P_D : 最大許容圧力 (MPa)

Y : 円筒胴の外径と内径の比 D_o / D_i

S_y : 材料の使用温度における降伏点又は 0.2% 耐力 (N/mm^2)

3.6.1 円筒胴の最大許容圧力

内面に圧力を受ける円筒胴の最大許容圧力は，次の算式により算定するものとする。

$$P_D = \frac{2}{3}(S_y)\ln(Y)$$

3.6.2 球形胴の最大許容圧力

内面に圧力を受ける球形胴の最大許容圧力は，次の算式により算定するものとする。

$$P_D = \frac{4}{3}(S_y)\ln(Y)$$

3.6.3 全半球形鏡板の最大許容圧力

内面に圧力を受ける全半球形鏡板の最大許容圧力は，3.6.2 による。

3.7 内圧を受ける円筒胴の主応力

この項で用いる記号は次による。

D : 円筒胴の任意位置における直径 (mm)

D_i : 内径 (mm)

D_o : 外径 (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

Y : 外径と内径の比 D_o / D_i

Z : 直径比 D_o / D