

Q

ASME B&PV Code, Section III 等の圧力容器の設計規格には疲労解析不要の条件が規定されていますが、これを適用する場合、一次応力と二次応力の和が許容値を満足すれば、疲労解析が不要になる理由を教えてください。

参照 QNo.: FC-03

A

疲労解析不要の規定は、(一次+二次)の応力解析を前提に、表 1 に示す圧力、熱および圧力を除く機械的荷重の 3 種類の荷重変動の場合に、疲労解析不要の条件を、以降に示す考え方から工学的な判断に基づき規定している。基本的には、3 種類の荷重変動による個々の応力振幅が、設計疲労線図における疲労限度以下、または個々の応力振幅が疲労限度を超える場合には、個々の繰返し回数(疲労寿命)に対応する疲労強度以下という考え方であり、3 種類の荷重変動(応力振幅)を重畳して考慮する必要はない。

表 1 疲労解析不要の条件において対象と荷重変動

荷重		荷重変動
1.	圧力	(1) 起動停止の圧力変動(耐圧試験を除く) (2) 運転の圧力変動
2.	熱	(3) 起動, 停止の温度差 (4) 運転の温度差の変動範囲 (5) 異材接合の温度差
3.	機械的荷重	(6) 圧力を除く機械的荷重の変動

1. 圧力変動

(1) 起動停止の圧力変動

起動停止の圧力変動の繰返し回数を N 、設計疲労線図において繰返しピーク応力強さの振幅が $3S_m$ (設計応力強さ S_m の 3 倍) に対応する許容繰返し回数を N_f とした場合に、次式を条件としている。

$$N \leq N_f \quad (1)$$

(一次+二次)のピーク応力強さ S_p は、 $3S_m$ 以下に制限されている。

$$S_p \leq 3S_m \quad (2)$$

S_p の振幅が最大となる条件は、両振り ($R=-1$) の場合で、繰返しピーク応力強さの振幅 S_a は、次式となる。

$$S_a = S_p = 3S_m \quad (3)$$

(2) 運転の圧力変動

供用状態 A 及び B における運転中の圧力変動の範囲 ΔP の場合に、 N は ΔP の繰返し回数の場合

に、以下を条件としている。

$$\Delta P \leq P_d (S_a/3S_m) \quad (4)$$

ここで、 P_d は設計圧力、 S_a は設計疲労線図において N (疲労寿命)に対応する応力振幅である。ただし、 N が 10^6 回を超える場合には、 S_a は 10^6 回の値とする。

上式の考え方は、運転中の圧力変動の比(圧力範囲 ΔP /設計圧力 P_d)を、起動停止の圧力変動の場合の式(3)を参照した比($S_a/3S_m$)と等置している。

2. 熱変動

(1) 起動停止の温度差

起動停止の場合は、圧力容器の平均半径 R と厚さ t から得られる距離 $L(= 2.5\sqrt{Rt})$ を超えない任意の2点間の温度差 ΔT を対象として、起動停止の繰返し回数が N の場合に、以下を条件としている。

$$\Delta T \leq S_a/(2\alpha E) \quad (5)$$

ここで、 S_a は設計疲労線図において N (疲労寿命)に対応する応力振幅、 α は線膨張係数、 E は縦弾性係数である。

(2) 供用状態 A 及び B における運転中の温度差変動の範囲

供用状態 A 及び B における運転中の場合も、起動停止の場合と同様に、式(5)を条件としている。ただし、式(5)の ΔT は温度差ではなく、温度差変動の範囲とする。ここで、 N は温度差変動の繰返し回数、 S_a は設計疲労線図において N (疲労寿命)に対応する応力振幅である。また、 N が 10^6 回を超える場合には、 S_a は 10^6 回の値とする。

式(5)は、熱応力を算出する際に用いる一般的な式($\sigma = \alpha E \Delta T / (1 - \nu)$)に基づいている。ここで ν はポアソン比である。また、2点間の距離 L は、設計規格で一般的に用いられているパラメータであり、力の作用点からこの距離があれば、変形は作用点の値の $1/10$ 以下に低下することに基づいている。

(3) 異材接合の温度差

異材接合の場合は、式(5)に換えて、次式を条件としている。

$$\Delta T = S_a/[2(\alpha_1 E_1 - \alpha_2 E_2)] \quad (6)$$

ここで、 α 及び E の添字 1 と 2 は、2つの異材を意味する。基本的な考え方は、2(1)と同じである。ただし、クラッド鋼には適用できない。

3. 機械的荷重の変動

圧力を除く機械的荷重の場合は、以下を条件としている。

$$\Delta S/2 \leq S_a \quad (7)$$

ここで、 $\Delta S/2$ は機械的荷重の変動による繰返し応力強さの振幅、 N はその繰返し回数、 S_a は設計疲労線図において N (疲労寿命)に対応する応力振幅である。

参考文献

- (1) Criteria of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code for Design by Analysis in Sections III and VIII, Division 2, ASME, (1969)

