

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-20-0042_改0
提出年月日	2020年12月22日

VI-3-2-13 重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）の強度計算方法

2020年12月

東北電力株式会社

目次

1. 概要	1
2. 重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）の強度計算方法	2
2.1 クラス2支持構造物の規定に基づく強度計算方法	2
2.1.1 記号の定義	2
2.1.2 強度計算方法	3
3. 強度計算書のフォーマット	7
3.1 強度計算書のフォーマットの概要	7
3.2 記載する数値に関する注意事項	7
3.3 強度計算書のフォーマット	7

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき、重大事故等クラス 2 ポンプを支持する支持構造物であって、重大事故等クラス 2 ポンプに溶接により取り付けられ、その損壊により重大事故等クラス 2 ポンプに損壊を生じさせるおそれがある重大事故等クラス 2 支持構造物（ポンプ）（以下「重大事故等クラス 2 支持構造物（ポンプ）」という。）が十分な強度を有することを確認するための方法として適用する規格の規定に基づく強度計算方法について説明するものであり、重大事故等クラス 2 支持構造物（ポンプ）の強度計算方法及び強度計算書のフォーマットにより構成する。

適用する規格は、昭和 55 年通商産業省告示第 5 0 1 号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（以下「告示第 5 0 1 号」という。）及び発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））J S M E S N C 1 - 2 0 0 5 / 2 0 0 7）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

なお、告示第 5 0 1 号及び設計・建設規格による評価について、評価式及び許容値の 2 つの項目について比較を実施した結果、両規格に相違のないことを確認した。そのため、設計・建設規格による評価を行う。

2. 重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）の強度計算方法

2.1 クラス2支持構造物の規定に基づく強度計算方法

2.1.1 記号の定義

重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）の一次応力計算に用いる記号について、以下に説明する。

	記号	単位	定義
一次応力計算に使用するもの	A_f	mm^2	圧縮フランジの断面積
	A_s	mm^2	取付ラグの断面積
	b	mm	取付ラグの幅
	E	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に規定する材料の縦弾性係数
	F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1により規定される値
	f_b	MPa	許容曲げ応力
	f_t	MPa	許容引張応力
	F_c	N	取付ラグ1個にかかる最大の鉛直荷重
	f_s	MPa	許容せん断応力
	h	mm	はりのせい
	I	mm^4	断面二次モーメント
	Λ	—	限界細長比
	C	—	許容曲げ応力算定に用いる係数
	i	mm	圧縮フランジとはりのせいの1/6とからなるT型断面のウェッジ軸まわりの断面二次半径
	l_b	mm	圧縮フランジの支点間距離
	M	$\text{N}\cdot\text{mm}$	取付ラグにかかる曲げモーメント
	t_1	mm	取付ラグの厚さ（側板）
	t_2	mm	取付ラグの厚さ（底板）
	W	kg	内部流体質量を含むポンプ質量
	Z	mm^3	取付ラグの断面係数
σ_b	MPa	一次曲げ応力	
σ_s	MPa	一次せん断応力	

2.1.2 強度計算方法

ここでは、重大事故等クラス 2 支持構造物（ポンプ）の取付ラグ部について評価が必要な一次応力及びその計算方法を示す。

材料の設計降伏点は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 及び設計引張強さは設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 によりポンプの最高使用温度に応じた値を用いる。設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 記載の温度の中間の値の場合は比例法を用いて計算し、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

強度計算は設計・建設規格に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから、強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(1) 評価応力（設計・建設規格 SSC-3010）

今回申請する支持構造物（ポンプ）については、以下のとおり評価する。

項目		適用規格番号	評価
一次応力	引張応力	設計・建設規格 SSC-3121.1	支持構造物に引張力が作用しないので評価を省略する。
	せん断応力		評価を行う。
	圧縮応力		支持構造物に圧縮力が作用しないので評価を省略する。
	曲げ応力		評価を行う。
	支圧応力		構造上支圧応力が発生するものはないので評価を省略する。
	組合せ応力		支持構造物に引張応力が生じないことから、せん断応力、曲げ応力との組合せは省略する。

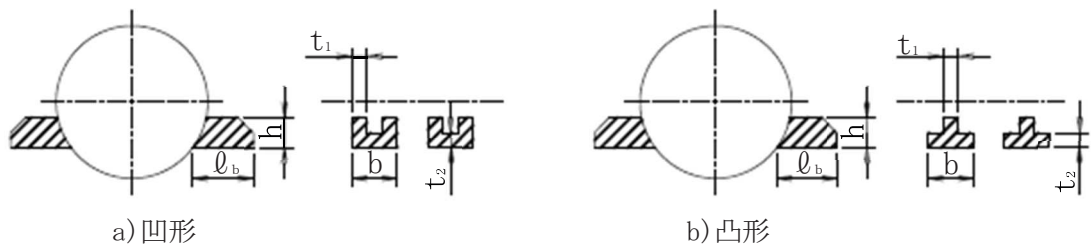


図 2-1 支持構造物の形状例

(2) 一次応力及び許容応力の計算（設計・建設規格 SSC-3010）

一次応力は、下記計算式により求められる許容応力以下であることを確認する。

項目	適用規格番号	計算式
一次せん断応力	—	$\sigma_s = \frac{F_c}{A_s} \quad *1, *2$
許容せん断応力	設計・建設規格 SSC-3121.1	$f_s = \frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}}$
一次曲げ応力	—	$M = F_c \cdot \ell_b$ $\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad *3, *4$
許容曲げ応力	設計・建設規格 SSC-3121.1	<p>荷重面内に対称軸を有する圧延形鋼および溶接組立鋼であって強軸まわりに曲げを受けるもの（箱形断面のものを除く）については、下記の f_b 算出式で大きい方の値、または f_t と比較して小さい方の値</p> $f_b = \left\{ 1 - 0.4 \cdot \frac{\ell_b^2}{C \cdot \Lambda^2 \cdot i^2} \right\} \cdot f_t \quad *5, *6$ $f_b = \frac{0.433 \cdot E \cdot A_f}{\ell_b \cdot h} \quad *7$ $f_t = \frac{F}{1.5}$ <p>荷重面内に対称軸を有する圧延形鋼および溶接組立鋼であって弱軸まわりに曲げを受けるもの</p> $f_t = \frac{F}{1.5}$ <p>みぞ形断面のもの、荷重面内に対称軸を有しない圧延形鋼および溶接組立鋼の場合には、下記の f_b 算出式による値または f_t と比較して小さい方の値</p> $f_b = \frac{0.433 \cdot E \cdot A_f}{\ell_b \cdot h} \quad *7$ $f_t = \frac{F}{1.5}$

注記 *1: F_c は、各支持構造物にかかる荷重で最も大きい値を用いる。支持構造物にかかる荷重は、 W をポンプの重心位置及び支持構造物の間隔により比例配分することにより算出する。

*2: A_s は、取付ラグの断面積で、凹形は $A_s = 2 \cdot t_1 \cdot (h - t_2) + b \cdot t_2$

凸形は $A_s = t_1 \cdot (h - t_2) + b \cdot t_2$ より求める。

*3: 【凹形】 Z は、取付ラグの断面係数で、 $Z_1 = \frac{I}{e_1}$ と $Z_2 = \frac{I}{e_2}$ のうち小さい方の値を用いる。

e_1, e_2 は、中立軸までの距離で、次式により求まる。

$$e_1 = h - e_2$$

$$e_2 = \frac{2 \cdot h^2 \cdot t_1 + t_2^2 \cdot (b - 2 \cdot t_1)}{2 \cdot \{b \cdot t_2 + (h - t_2) \cdot 2 \cdot t_1\}}$$

I は、断面二次モーメントで、次式により求まる。

$$I = \frac{1}{3} \cdot \{2 \cdot t_1 \cdot e_1^3 + b \cdot e_2^3 - (b - 2 \cdot t_1) \cdot (e_2 - t_2)^3\}$$

*4: 【凸形】 Z は、取付ラグの断面係数で、 $Z_1 = \frac{I}{e_1}$ と $Z_2 = \frac{I}{e_2}$ のうち小さい方の値を用いる。

e_1, e_2 は、中立軸までの距離で、次式により求まる。

$$e_1 = h - e_2$$

$$e_2 = \frac{h^2 \cdot t_1 + t_2^2 \cdot (b - t_1)}{2 \cdot \{b \cdot t_2 + (h - t_2) \cdot t_1\}}$$

I は、断面二次モーメントで、次式により求まる。

$$I = \frac{1}{3} \cdot \{t_1 \cdot e_1^3 + b \cdot e_2^3 - (b - t_1) \cdot (e_2 - t_2)^3\}$$

*5: C は、許容曲げ応力算定に用いる係数で、次式により計算した値または2.3のうちいずれか小さい値(座屈区間中間の強軸まわりの曲げモーメントが M_1 より大きい場合は1とする)。 M_2 および M_1 は、それぞれの座屈区間端部における強軸まわりの曲げモーメント。この場合において、 M_2 と M_1 の比は、1より小さいものとし、単曲率の場合を正に、複曲率の場合を負とする。

$$C = 1.75 - 1.05 \cdot \left(\frac{M_2}{M_1}\right) + 0.3 \cdot \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2$$

*6: i は、圧縮フランジとほりのせいの $1/6$ とからなる T 型断面のウェッブ軸まわりの断面二次半径。

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

I は、断面二次モーメントで、次式により求まる。

$$I = \frac{1}{12} \cdot t_2 \cdot b^3 + \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{h}{6} - t_2 \right) \cdot t_1^3$$

A は、断面積で、次式により求まる。

$$A = t_2 \cdot (b - t_1) + \frac{h}{6} \cdot t_1$$

*7: A_f は、圧縮フランジの断面積で、 $A_f = t_2 \cdot b$ より求める。

3. 強度計算書のフォーマット

3.1 強度計算書のフォーマットの概要

強度計算書のフォーマットは、重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）を構成する部材について以下の3.3項のフォーマットを用い、フォーマット中に計算に必要な条件及び結果を記載する。

3.2 記載する数値に関する注意事項

計算に使用しないものや計算結果のないものは、計算結果表の欄には

—

 として記載する。

3.3 強度計算書のフォーマット

強度計算書のフォーマットは、次のとおりである。

FORMAT-1 支持構造物（ポンプ）の強度計算書

〇〇の強度計算書

〇〇ポンプ 支持構造物 (△△形)

(1) 一次せん断応力評価

種類	脚本数	材料	最高 使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 F_c (N)	断面積 A_s (mm ²)	一次せん断応力 σ_s (MPa)	許容せん断応力 f_s (MPa)	評価

(2) 一次曲げ応力評価

種類	脚本数	材料	最高 使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 F_c (N)	曲げモーメント M (N·mm)	断面係数 Z (mm ³)	一次曲げ応力 σ_b (MPa)	許容曲げ応力 f_b (MPa)	評価