

東京電力ホールディングス株式会社

資料番号：KK7-054 改0

資料提出日：2020年6月18日

原子炉圧力容器関係の強度計算書における
「一次膜応力」「一次一般膜応力」の説明について

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

本資料は、V-3-別添 6-1「炉心支持構造物の強度計算書」及びV-3-別添 8「原子炉压力容器スカートの強度計算書」において評価を実施している、応力の分類について説明する。

2. 評価項目

V-3-別添 6-1「炉心支持構造物の強度計算書」及びV-3-別添 8「原子炉压力容器スカートの強度計算書」において評価を実施している項目について、通商産業省告示第 501 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 501 号」という。）に記載されている応力強さの限界は、次頁に示すとおりとなる。

「一次曲げ応力」と組み合わせて評価を行う応力の分類は、炉心支持構造物においては、告示第 501 号第 96 条に基づき「一次一般膜応力」で評価を行う。原子炉压力容器スカートにおいては、告示第 501 号第 88 条に基づき、第 1 種容器の規定に準じて評価を行うため、一次一般膜応力、一次局部膜応力を含んだ「一次膜応力」で評価を行う。

一次応力は、告示第 501 号第 2 条解説に記載されているとおり、「一般膜応力」「曲げ応力」「局部膜応力」に細分され、強度計算書では、各応力を適切に組み合わせて評価を行っている。

八 「膜応力」とは、断面の垂直応力の平均値に等しい当該断面に垂直な応力成分をいう。

4 第 8 号の膜応力の考え方は次のとおりである。

応力を仮想面に垂直な方向と、平行な方向に分解して、垂直な成分を垂直応力、平行な成分をせん断応力という。垂直応力は一般には互いに垂直な 3 成分（3 軸応力）をもつ。

応力評価の対象とする断面内で、それぞれの垂直応力ごとに平均値をとったとき、これに等しい応力をその断面の膜応力という。なお、せん断応力についても同様に考えるものとする。

十 「一次応力」とは、外力、内力及びモーメントに対して単純な平衡の法則を満足する垂直応力又はせん断応力をいう。

6 第 10 号の一次応力は、内圧や外荷重が作用している機器において、それらの力とバランスのために機器部材内に発生する応力である。すなわち、その特性は自己制御性がないことである。換言すると、それは外荷重により発生する応力で、その応力が材料の肉厚全体にわたって降伏点を超えて増加すると、材料のひずみ硬化による抵抗力以外は持ち堪えることができず、遂には破断に至るものである。

なお、一次応力は、一般膜応力、曲げ応力又は局部膜応力に細分され、それぞれの応力に対して定めた応力強さの限界は異なっている。

(材料の応力強さの限界及び許容応力)

第13条 材料の応力強さの限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

一 容器(穴の周辺部、ボルト等、オメガシール及びキャノピシールを除く。)にあつては、次によること。この場合において、容器に直接溶接されるラグ、ブラケット等の取付物(強め材、支持構造物及び炉心支持構造物を除く。)を取り付けるすみ肉溶接部にあつては、次の値の2分の1以下でなければならない。

イ 最高使用圧力及び機械的荷重により生ずる応力の応力解析による一次応力強さは、次の値を超えないこと。

- (イ) 一次一般膜応力強さは、最高使用温度における別表第2に定める値
- (ロ) 一次局部膜応力強さは、(イ)に定める値の1.5倍の値
- (ハ) 一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さは、(イ)に定める値に応力解析による純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値を乗じた値

3 第1項第1号における基本的な応力強さの限界を表13.2に示す。

表13.2 応力強さの限界 (ボルト、ナット、キャノピシール及びオメガシールを除く。)

応力の分類	一次応力			二次応力	ピーク応力
	一般膜応力	局部膜応力	曲げ応力	膜応力と曲げ応力	
記号*1	P_m	P_L	P_b	Q	F
設計条件	P_m (Sm) *5	P_L (1.5Sm) *5	$P_L + P_b$ (1.5Sm) *8	評価不要	評価不要
運転状態 I 運転状態 II				$P_L + P_b + Q$ (3Sm) *6	$P_L + P_b + Q + F$ (Sa) *2
運転状態 III	P_m (1.2Sm) *3, (Sy + Su) *4, *5	P_L (1.2Sm) *3, (Sy + Su) *4.5, *1.5	$P_L + P_b$ (1.2Sm) *3, (Sy + Su) *4.5, *1.5, *8, *4, *5	評価不要	評価不要
運転状態 IV	P_m (2.4Sm) *3, (Su) *4, *5	P_L (2.4Sm) *3, (Su) *4, *1.5, *5	$P_L + P_b$ (2.4Sm) *3, (Su) *4, *1.5, *8, *5, *4	評価不要	評価不要
試験状態	P_m (0.9Sy) *7	P_L (1.35Sy) *7	$P_L + P_b$ (1.35Sy) *7		$P_L + P_b + Q + F$ (Sa) *7, *2

(材料の応力強さの限界及び許容応力)

第96条 材料の応力強さの限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

一 炉心支持構造物 (ボルト等を除く。) にあつては、次によること。

イ 最高使用圧力及び機械的荷重により生ずる応力の応力解析による一次応力強さは、次の値を超えないこと。ただし、最高使用圧力による荷重と機械的荷重を加えた荷重が、材料の降伏点が最高使用温度における別表第2に定める値の1.5倍である完全弾塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限 (荷重とそれによる変位置の関係直線又は関係曲線と荷重軸に対し弾性範囲の関係直線の勾配の2倍の勾配を有する直線が交わる点に対応する荷重とする。以下この条において同じ。) の3分の2を超えない場合は、この限りでない。

- (イ) 一次一般膜応力強さは、最高使用温度における別表第2に定める値
- (ロ) 一次一般膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さは、(イ)に定める値の1.5倍の値

表96.2 応力強さの限界 (ボルト等を除く。)

応力の分類 運転状態	一次応力		二次応力	ピーク応力	特別な応力限界
	一般膜応力 P_m	曲げ応力 P_b	膜応力と曲げ応力 Q	F	
設計条件	P_m S_m 弾性解析 又は $\frac{2}{3}L_t$ 極限解析 (注1)	$P_m + P_b$ $1.5S_m$ 弾性解析 又は $\frac{2}{3}L_t$ 極限解析 (注1)	評価不要	評価不要	—
運転状態 I 運転状態 II			$P_m + P_b + Q$ $3S_m$ 弾性解析 又は	$P_m + P_b + Q + F$ S_a 疲れ解析 $P_m + P_b + Q + F$ S_a 弾塑性解析	支圧荷重 平均支圧応力 S_y 又は $1.5S_y$ せん断荷重 平均せん断応力 $0.6S_u$ 最大ねじりせん断応力 $0.8S_u$
運転状態 III	P_m $1.5S_m$ 弾性解析 又は L_t 極限解析 (注1)	$P_m + P_b$ $2.25S_m$ 弾性解析 又は L_t 極限解析 (注1)	評価不要	評価不要	運転状態 I、II の 1.5 倍
運転状態 IV	P_m (注2、注3) $2.4S_m$ (注4) 弾性解析 $\frac{2}{3}S_u$ (注4) 又は $\frac{2}{3}S_u$ 極限解析 (注5) $0.9P_c$ (注5)	$P_m + P_b$ (注2、注3) $3.6S_m$ (注4) 弾性解析 S_u (注4) 又は S_u 極限解析 (注5) $0.9P_c$ (注5)	評価不要	評価不要	運転状態 I、II の 2 倍

以上