

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-28
提出年月日	2022年6月21日

原子炉圧力容器の耐震性についての計算書における
ブラケット類の応力評価について

2022年6月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 概要

本資料は、添付書類VI-2-3-3-1-1「原子炉压力容器の応力解析の方針」及びVI-2-3-3-1-2「原子炉压力容器の耐震性についての計算書」において、ブラケット類の一次＋二次応力の評価及び疲労評価を省略することの妥当性を説明するものである。

2. 評価の考え方

ブラケット類は、原子炉压力容器に溶接により取り付けられる部材であることから、設計・建設規格^[1]における、クラス 1 容器の規定に基づき評価を行うこととなり、一次応力の評価に加えて、一次＋二次応力の評価及び疲労評価が必要となるが、計算書においてブラケット類の応力評価では、一次＋二次応力の評価及び疲労評価を省略していることから、その考え方を以下に示す。

2.1 一次＋二次応力の評価について

ブラケット類の評価において考慮する評価条件は、外荷重のみであり、一次応力及び一次＋二次応力は、外荷重に比例した値となる。表 1 よりブラケット類の耐震計算結果から一次膜＋一次曲げ ($P_L + P_b$) で応力比 (応力強さ／許容応力) が厳しい蒸気乾燥器支持ブラケットに着目し、一次＋二次応力評価を行った結果を表 2 に示す。

表 2 に示すとおり、一次＋二次応力強さ S_n は許容値 ($3 \cdot S_m$) を下回る。よって、一次＋二次応力評価を省略する。

2.2 疲労評価について

ブラケット類の疲労評価は、設計・建設規格^[1]における疲労解析不要の条件 (PVB-3140) に適合する場合、評価を不要とすることが可能である。表 3 に設計・建設規格^[3]における疲労評価不要の条件 (PVB-3140) 並びに各条件に対する判定結果を示す。

表 3 の項目 (1) ～ (5) は、既に認可された工事計画の添付書類 (以下「既工認」という) の応力解析の方針^[2]の図 4-1 に記載している原子炉压力容器の運転条件 (圧力、温度)、並びに既工認の計算書^[3]のブラケット及びその取付部に使用している材料 (SQV2A, SUSF316) から、いずれも疲労評価は不要と判定することができる。

表 3 の項目 (6) は、機械的荷重による応力変動を評価する必要がある。機械的荷重により生じる一次＋二次及びピーク応力は、一次応力に構造不連続の影響を考慮したものである。ブラケットにおいて構造不連続の影響は、ブラケットと取付部の構造により決まり、ブラケット本体より遥かに大きな円筒胴に取り付く構造は各ブラケット共通であることから、構造不連続による影響は、各ブラケットで異なることはないと考えられる。よって、2.1 と同様に蒸気乾燥器支持ブラケットに着目し、疲労評価不要の規定を満たすことを確認する。

表4に蒸気乾燥器支持ブラケットの機械的荷重により生じる応力の全振幅である補正繰返しピーク応力強さ S_i' を計算した結果を示す。表4より、 S_d 地震の補正

繰返しピーク応力強さ S_e' は MPa, S_s 地震の補正繰返しピーク応力強さ S_e' は MPaとなり, S_d 地震繰返し回数300回に対応する許容繰返しピーク応力強さの MPa及び S_s 地震繰返し回数150回に対応する許容繰返しピーク応力強さの MPaをそれぞれ下回ることから, 疲労評価は不要と判定することができる。

3. 結論

2章より, ブラケット類の応力評価において, 一次+二次応力の評価は, 一次応力の評価で代表することが可能であるため評価を省略し, 疲労評価は, 設計・建設規格^[1]における疲労解析不要の条件 (PVB-3140) の各規定を満たしているため, 既工認^[3]と同様に疲労評価結果の記載は不要としている。

表1 一次応力評価における応力比と機械的荷重による応力変動の代表計算を行う
ブラケットの選択

機 器 (材 料)	応力分類	P _m		P _L +P _b	
	許容応力状態	IVAS	IIIAS	IVAS	IIIAS
スタビライザブラケット (SQV2A)	応力強さ (MPa)	167	140	356	298
	許容応力 (MPa)	326	303	490	454
	応力比	0.512	0.462	0.727	0.656
蒸気乾燥器支持ブラケット (SUSF316)	応力強さ (MPa)	87	42	340	172
	許容応力 (MPa)	284	143	427	214
	応力比	0.306	0.294	0.796	0.804
給水スパージャブラケット (SUSF316)	応力強さ (MPa)	6	3	71	34
	許容応力 (MPa)	284	143	427	214
	応力比	0.021	0.021	0.166	0.159
炉心スプレイブラケット (SUSF316)	応力強さ (MPa)	18	7	186	71
	許容応力 (MPa)	284	143	427	214
	応力比	0.063	0.049	0.436	0.332

表2 蒸気乾燥器支持ブラケットの一次+二次応力の評価

項目	S _d	S _s
一次+二次応力強さ S _n (MPa)	84	161
一次+二次応力強さの許容応力 3・S _m (MPa)	360	360

表3 ブラケット類の疲労評価不要の条件とその評価

適用JSME S NC1-2005/2007 PVB-3140			評 価	疲労評価 要否判定
項目	条 件	判定基準		
(1)	大気圧－運転圧力 変動回数	$N_1 \leq N_a$	使用している材料について、PVB-3140(1)における N_a の最小値は□□回であり、評価の基準となる N_1 （起動・停止回数）の□□回よりも多く、疲労評価不要の条件を満たす。	不要
(2)	運転時の圧力変動	$\Delta P \leq A_{m2}$	使用している材料について、PVB-3140(2) b.における A_{m2} の最小値は□□MPaであり、評価の基準となる ΔP （起動時、停止時及び耐圧試験時を除く供用状態A及び供用状態Bにおける実際の圧力変動幅）の□□MPaより大きく、疲労評価不要の条件を満たす。	不要
(3)	起動時及び停止時の 温度差	$\Delta T \leq T_1$	使用している材料について、PVB-3140(3)における T_1 の最小値は□□℃である。 疲労評価不要の条件を満たす。	不要
(4)	運転時の温度差変動	$\Delta T_R \leq T_1$	使用している材料について、PVB-3140(4)における T_2 の最小値としてSUSF316の□□℃を考慮した場合に、起動時及び停止時を除く供用状態A及び供用状態Bにおいて T_2 を超える領域温度変動回数は、領域Aにおいては□□回、領域Bにおいては□□回である。この場合、領域A及びBで求められる T_1 の最小値は□□℃となる。評価の基準となる ΔT_R （起動時及び停止時を除く供用状態A及び供用状態Bの領域最大温度変動幅）は、RPVサーマルサイクルでは領域Aで□□℃、領域Bで□□℃であり、疲労評価不要の条件を満たす。	不要
(5)	異なる材料よりなる 部分の温度変動	$\Delta T \leq T_1$	使用している材料について、PVB-3140(5)における T の最小値として領域A及びBにおいて□□℃を考慮した場合に、供用状態A及び供用状態Bに対し T を超える領域温度変動回数は、領域A及びBにおいて□□回である。この場合、 T_1 の最小値は□□℃となる。評価の基準となる ΔT （供用状態A及び供用状態Bの最大温度変動幅）は、RPVサーマルサイクルでは□□℃であり、疲労評価不要の条件を満たす。	不要
(6)	機械的荷重による 応力変動	$\Delta \sigma \leq S$	一次応力評価で許容値に対する応力比が最も小さくなる蒸気乾燥器支持ブラケットにおいて、応力変動幅 $\Delta \sigma$ は S_d 地震動で□□MPa、 S_s 地震動で□□MPaであり、評価の基準となる S （地震繰返し回数300回及び150回に対する最大応力変動幅）の□□MPa及び□□MPaを下回ることにより、疲労評価不要の条件を満たす。	不要

表 4 蒸気乾燥器支持ブラケットの繰返しピーク応力強さ

項目	S d (300回)	S s (150回)
一次+二次+ピーク応力強さ S_p (MPa) * ¹	167	322
繰返しピーク応力強さ S_0 (MPa)	84	161
補正繰返しピーク応力強さ S_0' (MPa) * ^{2, 3}	□	□
地震繰返し数に対応した許容繰返しピーク応力強さ (MPa)	□	□

注記*1：応力集中係数は引用文献[1]付録2に示す計算式により， $K_n = \square$ ， $K_b = \square$ と計算し，その最大値 \square を一律に考慮した。

*2：補正繰返しピーク応力強さ S_0' を計算する際に， E_0/E はオーステナイト系ステンレス鋼の値 \square を一律に考慮した。

*3：補正繰返しピーク応力強さ S_0' は，地震繰返し回数に対応した許容繰返しピーク応力を満たす。

引用図書及び文献

[1] 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007)

[2] 第5回工事計画認可申請書 添付書類 IV-3-1-1-1 「原子炉圧力容器の応力解析の方針」

[3] 第5回工事計画認可申請書 添付書類 IV-3-1-1-22 「ブラケット類の応力計算書」