

本資料のうち、枠囲みの内容は、
機密事項に属しますので公開で
きません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-028-10-39 改2
提出年月日	2020年8月14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

2020年8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-2-3-3-1-1「原子炉圧力容器の応力解析の方針」及びV-2-3-3-1-2「原子炉圧力容器の耐震計算結果」において応力評価を実施しているプラケット類について、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。

2. 評価の考え方

プラケット類は、原子炉圧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^[3]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、計算書においてプ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

プ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、一次応力及び二次応力は、外荷重に比例した値となる。そのため、一次応力の評価における最も厳しい応力比（応力強さ／許容応力）が一次+二次応力の応力比より厳しい場合、一次応力が限界に達するところまで荷重を増大させたとしても、一次+二次応力は許容応力に対してまだ余裕がある。従つて、先に限界に達する一次応力が許容応力を満足していれば、一次+二次応力も許容応力を満足しているため、一次+二次応力の評価を省略することが可能である。

表3に示すとおり、一次+二次応力の評価の応力比は、0.262（145MPa ÷ 552MPa）であり、一次応力評価の応力比が0.339であることから、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、一次+二次応力の評価を省略する。

2.2 疲労評価について

プラケット類の疲労評価は、設計・建設規格^[3]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1に設計・建設規格^[3]における疲労解析不要の条件（PVB-3140）並びに各条件に対する判定結果を示す。

表1の項目(1)～(5)については、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^[1]の図4-1(1)に記載している原子炉圧力容器の運転条件（圧力、温度）、並びに既工認の計算書^[2]のプラケット及びその取付部に使用している材料（SQV2A, SFVQ1A及び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1の項目(6)については、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。プラケットにおいて構造不連続の影響は、プラケットと取付部の構造により決まり、プラケット本体より遙かに大きな胴板に取り付く構造は各プラケット共通であることから、構造不連続による影響は、各プラケットで異なることはないと考えられる。よって、一次応力の応力比が最も厳しいプラケットで代表して確認する。

表2より原子炉圧力容器の耐震計算結果からスタビライザプラケットに着目し、機械的荷重により生じる応力の全振幅を計算することで、疲労評価不要の規定を満たすことを確認する。

表3にスタビライザ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り返しピーク応力強さ $S_{\ell}^{'} \#^2$ を計算した結果を示す。表3より、補正繰り返しピーク応力強さ $S_{\ell}^{'} \#^2$ は□ MPaとなり、地震繰り返し回数200回に対応する許容繰り返しピーク応力強さの□ MPa未満となることから、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+二次応力の評価については、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、疲労評価については、設計・建設規格^[3]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^[2]と同様に疲労評価結果の記載は不要としている。

表1 RPVプ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		$\Delta P \leq A_{m2}$	使用している材料の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、 停止時およ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) a. における T_1 の最小値は□ °C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□ °Cを考慮した場合に、 起動時および停止時を除く供用状態Aおよび供用状態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□回、 領域Bにおいて□回である。この場合、 領域A, Bで求められる T_1 の最小値は□ °Cとなる。評価の基準となる ΔT_R （起動時および停止時を除く供用状態Aおよび供用状態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□ °C、 領域Bで□ °C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において□ °C、 領域Bにおいて□ °Cを考慮した場合に、 供用状態Aおよび供用状態Bに対しTを超える領域温度変動回数は、 領域Aにおいて□回、 領域Bにおいて□回である。この場合、 T_1 の最小値は□ °Cとなる。評価の基準となる ΔT （供用状態Aおよび供用状態Bの最大温度変動幅）は、 RPVサーマルサイクルでは□ °C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スタビライザープラケットにおいて、 応力変動幅 $\Delta \sigma$ は□ MPaであり、 評価の基準となるS（地震繰り返し回数200回に対する最大応力変動幅）の□ MPaを下回ることより、 疲労評価不要の条件を満たす。	不要

表2 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プラケットの選択

機 器 (材 料)	応力分類 許容応力状態	P _m		P _{L+Pb}	
		IVAS	IIIAS	IVAS	IIIAS
スタビライザプラケット (SQV2A)	応力強さ	53	41	166	127
	許容応力	326	303	490	454
	応力比	0.163	0.135	0.339	0.280
蒸気乾燥器支持プラケット (SFVQ1A)	応力強さ	32	21	144	97
	許容応力	320	303	481	454
	応力比	0.100	0.069	0.299	0.214
給水スパージャプラケット (SUSF316)	応力強さ	7	4	10	5
	許容応力	280	142	420	214
	応力比	0.025	0.028	0.024	0.023
低圧注水スパージャプラケット (SUSF316)	応力強さ	7	4	10	5
	許容応力	280	142	420	214
	応力比	0.025	0.028	0.024	0.023

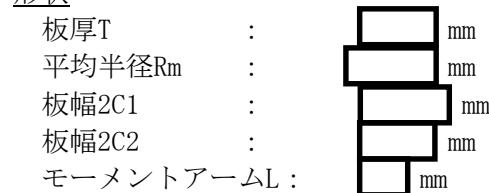
表3 スタビライザプラケットの繰返しピーク応力強さ

荷重条件

周方向モーメント : M_c kN·m Vc·L を含む
周方向せん断力 : V_c kN

形状

板厚 : mm
平均半径 R_m : mm
板幅 $2C_1$: mm
板幅 $2C_2$: mm
モーメントアーム L : mm



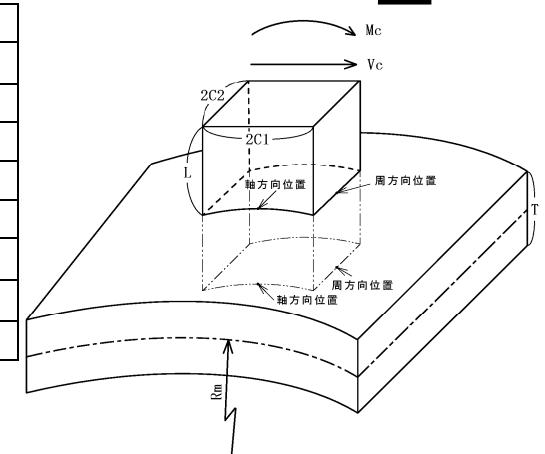
	応力値(MPa) (*1)		
	軸方向位置	周方向位置	
σ_t の和	σ_{tm} (局部膜応力)	—	± 1.5
	σ_{tb} (表面応力)	—	± 71.1
	σ_t (合計)	—	± 72.6
σ_ℓ の和	$\sigma_{\ell m}$ (局部膜応力)	—	± 1.5
	$\sigma_{\ell b}$ (表面応力)	—	± 55.0
	σ_ℓ (合計)	—	± 56.5
Vcによるせん断応力	± 11.3	—	

一次+二次応力強さ $S_n^{#2}$: 145 MPa

繰返しピーク応力強さ $S_\ell^{#2(*2)}$: [] MPa

補正繰返しピーク応力強さ $S_\ell'{}^{#2(*3,*4)}$: [] MPa

許容応力 $3Sm$: 552 MPa



注:本計算は過去のBWRプラントでの評価実績から、引用文献[4]に基づく計算結果を示すものである。

注記*1: 応力の評価位置を右図に示す。

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

*3: 補正繰返しピーク応力強さ $S_\ell'{}^{#2}$ を計算する際に、E0/Eは使用している材料の中の最大値 [] を一律に考慮した。

*4: 補正繰返しピーク応力強さ $S_\ell'{}^{#2}$ は、地震繰り返し回数に対応した許容繰返しピーク応力 [] MPaを満たす。

引用図書及び文献

- [1]第5回工事計画認可申請書 添付書類 IV-3-1-2-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針
- [2]第5回工事計画認可申請書 添付書類 IV-3-1-2-19 ブラケット類の応力計算書
- [3]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)
- [4]March 1979 Revision of WRC Bulletin 107/August 1965
"Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings"

以上