

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-782 改3
提出年月日	平成30年9月13日

V-2-9-2-5 胴アンカー部の耐震性についての計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 一般事項.....	1
2.1 構造計画.....	1
2.2 評価方針.....	3
2.3 適用基準.....	3
2.4 記号の説明.....	4
2.5 計算精度と数値の丸め方.....	6
3. 評価部位.....	7
4. 構造強度評価.....	8
4.1 構造強度評価方法.....	8
4.2 荷重の組合せ及び許容限界.....	8
4.3 設計用地震力.....	16
4.4 計算方法.....	16
4.5 計算条件.....	23
4.6 応力の評価.....	23
5. 評価結果.....	24
5.1 設計基準対象施設としての評価結果.....	24
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果.....	27

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、胴アンカー部が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

胴アンカー部は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

胴アンカー部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
<p>基礎・支持構造</p>	<p>主体構造</p>	<p>注記 * : ベースプレート下部は コンクリートに埋め込まれている。</p> <p>胴アンカー部拡大図 (単位 : mm)</p>
<p>炉心を中心に直径約 m の円筒形の基礎で, 原子炉格納容器底部コンクリートマットと一体となっている。</p>	<p>胴アンカー部は, 原子炉格納容器底部コンクリートマットにアンカーボルトで一体化され, 鉛直方向地震荷重は, このアンカーボルトを介して原子炉格納容器底部コンクリートマットに伝達させる。</p>	

2.2 評価方針

胴アンカー部の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組み合わせ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す胴アンカー部の部位を踏まえた「3. 評価部位」にて設定する箇所において、地震により評価部位に作用する荷重で発生する応力等が許容限界に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

胴アンカー部の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

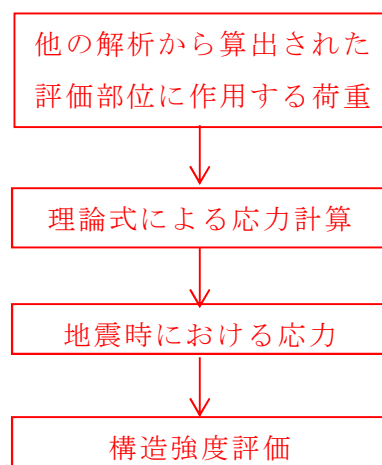


図 2-1 胴アンカー部の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版 (日本電気協会)
- (4) 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 - 2005/2007 (日本機械学会) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	ベースプレートの曲げ応力算出に用いる平板の固定された辺の長さ	mm
A_1	等価円筒の面積	mm ²
A_2	補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の溶接部の断面積	mm ²
A_3	補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の断面積	mm ²
A_{B1}	ボルトの最大直径有効断面積	mm ²
A_{B2}	ボルトの谷径有効断面積	mm ²
A_p	アンカープレートと接するコンクリートの面積	mm ²
b	ベースプレートの曲げ応力算出に用いる平板の支持された辺の長さ	mm
b'	サプレッション・チェンバ本体の厚さ	mm
b''	補強リブの厚さ	mm
C_t	e > r の場合のアンカーボルトの引張り応力を求めるための係数	—
C_c	e > r の場合のコンクリートの圧縮応力を求めるための係数	—
d	円周上 2 列のボルトサークルの平均径	mm
d_{B1}	アンカーボルトの最大直径	mm
d_{B2}	アンカーボルトの谷径	mm
d_p	アンカープレートの穴部の径	mm
D_{B1}	胴アンカー直径 (外側ボルトの中心間) (図 3-1 参照)	mm
D_{B2}	胴アンカー直径 (内側ボルトの中心間) (図 3-1 参照)	mm
e	アンカーボルトに垂直荷重及びモーメントを受ける場合、断面に働く外力の合力の作用点が断面の中心から偏心する距離	mm
E	ボルトの縦弾性係数	MPa
E_c	コンクリートの縦弾性係数	MPa
F	せん断力	N
j	W_t と W_c の作用点間の距離と d との比	—
l_{Bi}	ボルト各部の寸法 (i=1, 2, 3) (図 3-1 参照)	mm
l_{BPO}	外側ボルト間の距離 (図 3-1 参照)	mm
l_{BPI}	内側ボルト間の距離 (図 3-1 参照)	mm
l_i	胴アンカー各部の寸法 (i=1, 2, 3...) (図 3-1 参照)	mm
l_R	補強リブ間の距離 (円周方向) (図 3-1 参照)	mm
M	アンカープレートの発生するモーメント	N・mm
M_o	アンカーボルトに作用するモーメント	N・mm
n	E_s/E_c	—
n_R	補強リブの数	—
n_{WC}	最大圧縮応力	MPa
N_b	アンカーボルトの本数	本
P	t_1/t_2	—
q	ベースプレートの曲げ応力算出に用いる等価分布荷重	N
r	円周上 2 列のボルトサークルの平均径の 1/2 (d/2)	mm

記号	記号の説明	単位
t	ベースプレートの曲げ応力算出に用いる平板の厚さ	mm
t_1	アンカーボルトの等価円筒の板厚	mm
t_2	圧縮側のコンクリートの板厚	mm
w_c	ベースプレートと接するコンクリートの圧縮応力	N/mm^2
W_c	圧縮側で受ける全圧縮力	N
w_t	最大引張応力	MPa
W_t	引張側で受ける全引張力	N
W_v	アンカーボルトに作用する垂直荷重	N
Z_1	等価円筒の断面二次モーメント	mm^4
Z_2	スカートを中心線と中立軸の間の距離を Z_d とする係数	—
Z_d	$e > r$ の場合のスカートの中心線と中立軸の間の距離	mm
Z_{D-D}	アンカープレートの断面二次モーメント	mm^4
α	$e > r$ の場合の等価円筒での引張りと圧縮力が釣合う位置での円周における角度	rad
β	R. J. ROARK "FORMULAS FOR STRESS AND STRAIN" 4TH EDITION の 227 ページ TABLE45 に示される 1 辺固定, 1 辺自由, 2 辺支持の平板に等分布荷重が加わるものと仮定して計算した値	—
δ_B	アンカーボルトの伸び量	mm
σ	補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の溶接部の合成応力	MPa
σ_{b1}	アンカープレートの曲げ応力	MPa
σ_{b2}	ベースプレートの曲げ応力	MPa
σ_c	補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の圧縮応力	MPa
σ_{cc}	アンカープレートと接するコンクリートの圧縮応力	N/mm^2
σ_t	サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部の引張応力	MPa
τ	サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部のせん断応力	MPa
τ_c	アンカープレートによるコンクリートのせん断力	N/mm^2

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
温度*1	℃	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁*2
力	N	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁*2
胴アンカー 算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
コンクリート 算出応力	N/mm ²	小数点以下第2位	切上げ	小数点以下第1位
胴アンカー 許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
コンクリート 許容応力*3	N/mm ²	小数点以下第2位	切捨て	小数点以下第1位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

胴アンカー部の形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

NT2 補③ V-2-9-2-5 R0

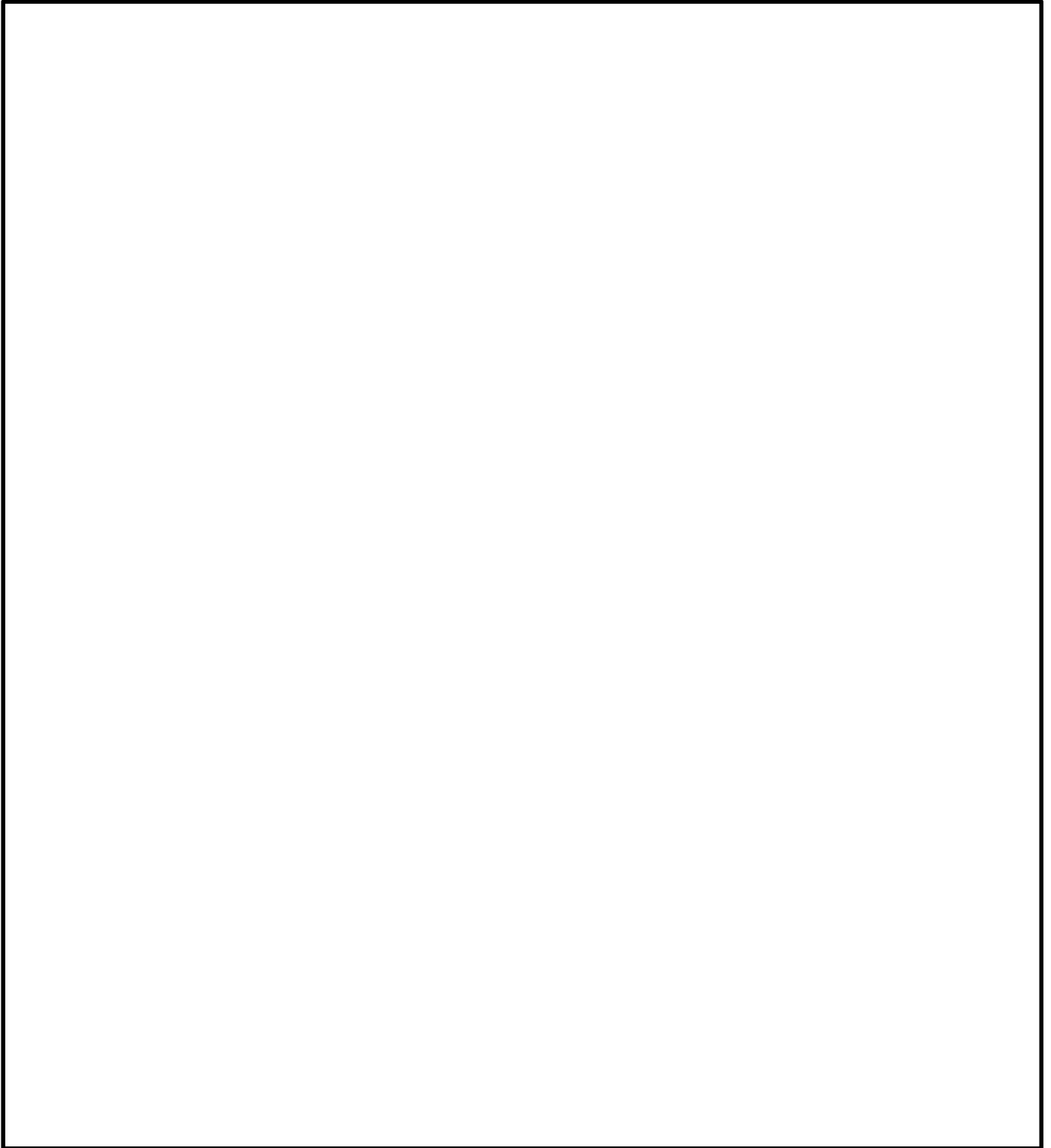


図 3-1 胴アンカー部の形状及び主要寸法（単位：mm）

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
アンカーボルト	GBL(5種)相当		GBL1～GBL5*
ベースプレート	SGV49 相当		SGV480*
補強リブ	SGV49 相当		SGV480*
アンカープレート	SGV49 相当		SGV480*

注記 *：新 JIS を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 胴アンカー部は、原子炉格納容器底部コンクリートマットにアンカーボルトで一体化され、鉛直方向地震荷重は、このアンカーボルトを介して原子炉格納容器底部コンクリートマットに伝達させる。添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重等を用いて、構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

胴アンカーの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。表で使用される記号は添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従うものとする。荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。

4.2.2 許容限界

胴アンカーの許容限界を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容応力

胴アンカーの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 及び表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 及び表 4-7 に示す。また、使用材料の許容応力を表 4-8 から表 4-11 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	胴アンカー部	S	クラスMC支持構造物	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d$	Ⅳ _A S

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	胴アンカー部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2支持構造物	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)

注記 * : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表4-3 許容限界 (クラスMC支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物)

許容応力 状態	許容限界 ^{*1, *2, *3} (ボルト等以外)										許容限界 ^{*2, *4} (ボルト等)		形式試験に よる割合
	一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈 ^{*5}	引張	せん断	
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$	$3 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s^{*6}$	$3 \cdot f_c^{*7}$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^{*8}$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$
V _A S (V _A Sと してⅣ _A S の許容限界 を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s^{*6}$	$3 \cdot f_c^{*7}$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_b^{*8}$ $1.5 \cdot f_s^{*8}$ 又は $1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t^{*7, *8}$	$1.5 \cdot f_s^*$	

注記 *1:「鋼構造設計規準 SI単位版」(2002年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

*2: 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*3: 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては、耐圧部と同じ許容応力とする。

*4: コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって、トルク管理、材料の照合等を行わないものについては、材料の品質、据付状態等のゆらぎ等を考慮して、Ⅳ_AS→Ⅲ_AS(一次引張応力に対しては $1.5 \cdot f_t$ 、一次せん断応力に対しては $1.5 \cdot f_s$)として応力評価を行う。

*5: 薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*6: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*7: 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*8: 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

表4-4 使用材料（アンカーボルト）の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
アンカーボルト	GBL1~GBL5	周囲環境 温度	104.5	—	678	862	—

表4-5 使用材料（ベースプレート、補強リブ、アンカープレート）の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ベースプレート 補強リブ アンカープレート	SGV480	周囲環境 温度	104.5	—	237	430	—

表4-6 使用材料（アンカーボルト）の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度					
アンカーボルト	GBL1~GBL5	周囲環境 温度	150	—	659	862	—
		周囲環境 温度	171	—	648	862	—

表4-7 使用材料（ベースプレート，補強リブ，アンカープレート）の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度					
ベースプレート 補強リブ アンカープレート	SGV480	周囲環境 温度	150	—	232	424	—
		周囲環境 温度	171	—	229	423	—

表 4-8 胴アンカー部の許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	基準 応力 F	許容応力（一次応力）				
				引張り f_t	曲げ f_b	せん断 f_s	圧縮 f_c	組合せ f_t
SGV480	104.5	Ⅲ _A S	237	237	273	136	223	237
		Ⅳ _A S	284	284	328	164	264	284
GBL1～GBL5	104.5	Ⅲ _A S	603	452	—	—	—	—
		Ⅳ _A S	603	452	—	—	—	—

表 4-9 コンクリートの許容応力（設計基準対象施設）

（単位：N/mm²）

材料	許容応力 状態	基準強度 F _c	圧縮応力 f _c	せん断応力 f _s
コンクリート	Ⅲ _A S	22.0	14.6	1.0
	Ⅳ _A S	22.0	18.7	1.0

表 4-10 胴アンカー部の許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	基準 応力 F	許容応力（一次応力）				
				引張り f_t	曲げ f_b	せん断 f_s	圧縮 f_c	組合せ f_t
SGV480	150	V _A S	278	278	321	160	—	278
	171	V _A S	275	275	317	158	—	275
GBL1～GBL5	150	V _A S	603	452	—	—	—	—
	171	V _A S	603	452	—	—	—	—

表 4-11 コンクリートの許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：N/mm²）

材料	許容応力 状態	基準強度 F _c	圧縮応力 f _c	せん断応力 f _s
コンクリート	V _A S	22.0	18.7	1.0

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D	310 kPa
温度 T_D	104.5 °C

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL}	465 kPa (SA後長期)
内圧 P_{SALL}	196 kPa (SA後長々期)
温度 T_{SAL}	171 °C (SA後長期)
温度 T_{SALL}	150 °C (SA後長々期)

(3) 自重 (胴部) 1.18×10^7 N

(4) 水荷重

サプレッション・チェンバ内保有水のうち、リングガード上にある水の重量は、原子炉格納容器側に加わるものと仮定する。

燃料交換時	2.48×10^6 N
通常運転時	8.24×10^5 N
事故時	9.41×10^5 N

(5) 活荷重

燃料交換時	5.15×10^6 N
燃料交換時以外	4.27×10^6 N

(6) 地震荷重

原子炉格納容器に加わる地震荷重について、添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された計算結果を用いる。応力計算に用いる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-12 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-13 に示す。弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による水平方向地震荷重のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-14 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-15 に示す。

表 4-12 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
	S_d^*	S_s		S_d^*	S_s
2.09×10^7	1.38×10^7	2.45×10^7	2.31×10^7	1.53×10^7	2.71×10^7

表 4-13 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

重大事故等時		
鉛直荷重	地震荷重	
	S_d	S_s
9.08×10^7	6.00×10^7	1.07×10^8

表 4-14 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.32×10^7	4.36×10^{11}	3.98×10^7	8.49×10^{11}

表 4-15 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S_d による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.32×10^7	4.36×10^{11}	3.98×10^7	8.49×10^{11}

4.3 設計用地震力

4.2.4(6)地震荷重に示す添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」で算出された荷重を用いる。

4.4 計算方法

4.4.1 応力評価点

胴アンカーの応力評価点は，胴アンカーを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し，発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-16 及び図 4-1 に示す。

表 4-16 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	アンカーボルト
P 2	コンクリート
P 3	アンカープレート
P 4	補強リブ
P 5	ベースプレート



図 4-1 応力評価点

4.4.2 応力計算方法

4.4.2.1 アンカーボルト及びコンクリート（応力評価点 P 1 及び P 2）

(1) 設計荷重

アンカーボルトに加わる軸力及びモーメントを表 4-17 及び表 4-18 に示す。

表 4-17 アンカーボルトの荷重（設計基準対象施設）

荷重の組合せ	軸力* (N)		モーメント (N・mm)
	通常運転時	燃料交換時	
D + P + M + S _d *	7.10 × 10 ⁶	7.80 × 10 ⁶	4.36 × 10 ¹¹
D + P + M + S _s	-3.60 × 10 ⁶	-4.00 × 10 ⁶	8.49 × 10 ¹¹
D + P _L + M _L + S _d	-1.56 × 10 ⁸	—	4.36 × 10 ¹¹

注記 *：下方向を正とする。

表 4-18 アンカーボルトの荷重（重大事故等対処設備）

荷重の組合せ	軸力 (N)	モーメント (N・mm)
D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s	-1.22 × 10 ⁸	8.49 × 10 ¹¹
D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d	-2.15 × 10 ⁸	4.36 × 10 ¹¹

(2) アンカーボルト及びコンクリートの応力

アンカーボルトの応力は次に示す仮定にもとづいて計算する。

- ① アンカーボルトの等価円筒及び荷重分布は図 4-2 に示す円周上 2 列のボルトサークルの平均径とする。また、そのボルトサークル上にボルトの全本数がある。
- ② 応力は最大引張応力 (w_t) から最大圧縮応力 (n w_c) まで直線的に変化する。
- ③ アンカーボルトに加わる荷重は平均径のサークル上のボルトの全断面積に等しい厚さの等価円筒に加わるものとする。

アンカーボルトに垂直荷重及びモーメントを受ける場合、断面に働く外力の合力の作用点が断面の中心から偏心する距離 e は次式によって得られる。

$$e = \frac{M_o}{W_V}$$

- a. アンカーボルトの等価円筒の板厚

$$t_1 = \frac{N_b \times \frac{\pi}{4} \times d_{B2}^2}{\pi \times \frac{D_{B1} + D_{B2}}{2}} = 9.51 \text{ mm}$$

- b. 圧縮側のコンクリートの板厚

$$t_2 = \ell_{11} = 500 \text{ mm}$$

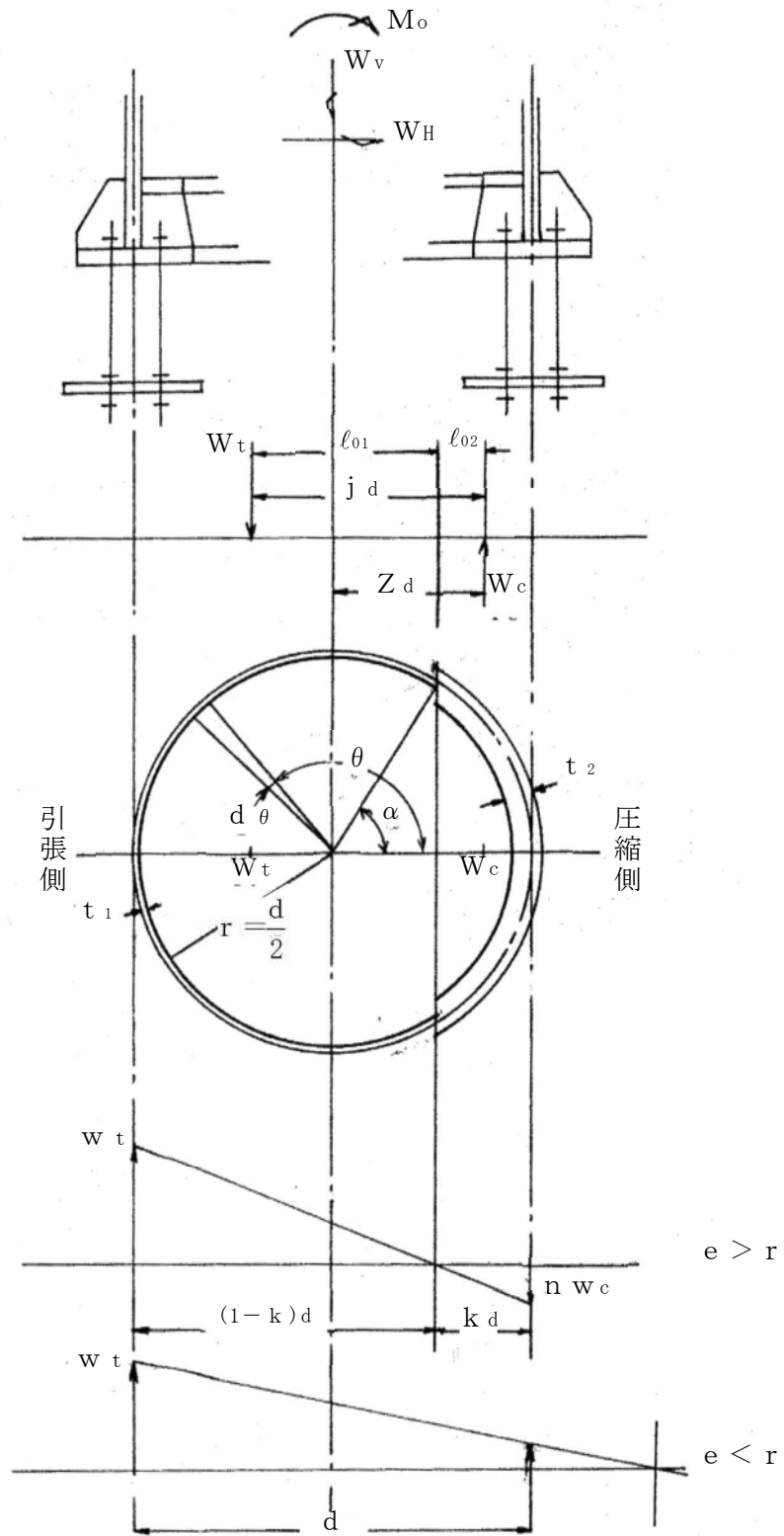


図 4-2 アンカーボルトの等価円筒及び荷重分布

c. $e < r$ の場合 (全面引張)

アンカーボルトの引張応力の最大値は次式により得られる。

$$w_t = \frac{W_v}{A_1} + \frac{M_o}{Z_1}$$

ここで,

$$A_1 = \pi \cdot d \cdot t_1$$

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(d + t_1)^4 - (d - t_1)^4}{d + t_1}$$

d. $e > r$ の場合

(a) 引張側で受ける全引張力

$$W_t = \frac{M_o - W_v \cdot Z_2 \cdot d}{j \cdot d}$$

ここで,

j : W_t と W_c の作用点間の距離と d との比

$$= \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha)}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} \right\} \\ + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{\alpha \cos^2 \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} \cdot \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

Z_2 : スカートの中心線と中立軸の間の距離を Z_d とする係数

$$= \frac{1}{2} \cdot \left\{ \cos \alpha + \frac{\alpha \cos^2 \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} \cdot \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

α : 以下の式から求める。

$$e/r = \frac{(1 - P - n \cdot P) \cdot (\alpha - \sin \alpha \cdot \cos \alpha) + \pi \cdot n \cdot P}{2 \cdot \{(1 - P - n \cdot P) \cdot (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha) - \pi \cdot n \cdot P \cdot \cos \alpha\}}$$

ここで,

$$P = \frac{t_1}{t_2}$$

$$n = \frac{E}{E_c} = 10$$

(b) 圧縮側で受ける全圧縮力

$$W_c = W_t + W_v$$

(c) アンカーボルトの引張応力

$$w_t = \frac{W_t}{t_1 \cdot r \cdot C_t}$$

ここで、

$$C_t = \frac{2}{1 + \cos \alpha} \cdot \{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha\}$$

(d) コンクリートの圧縮応力

$$w_c = \frac{W_c}{t_2 \cdot r \cdot C_c}$$

ここで、

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

(3) アンカーボルトの伸び量

$$\delta_B = \frac{W_t}{E} \cdot \left\{ \frac{A_{B1}}{A_{B2}} \cdot (\ell_{B2} + \ell_{B3}) + \ell_{B1} \right\}$$

ここで、

$$A_{B1} : \text{ボルトの最大直径有効断面積} = \pi / 4 \cdot d_{B1}^2 = 1.963 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$A_{B2} : \text{ボルトの谷径有効断面積} = \pi / 4 \cdot d_{B2}^2 = 1.424 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$E : \text{ボルトの縦弾性係数} = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$$

4.4.2.2 コンクリート及びアンカープレート（応力評価点 P 2 及び P 3）

- (1) アンカープレートと接するコンクリートの圧縮応力

$$\sigma_{cc} = \frac{2 \cdot w_t \cdot A_{B2}}{A_p}$$

ここで、

$$A_p : \text{アンカープレートと接するコンクリートの面積} \\ = l_{14} \cdot l_{15} - 2 \cdot \pi / 4 \cdot d_{B1}^2 = 1.211 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

- (2) アンカープレートの曲げ応力

$$\sigma_{b1} = \frac{M}{Z_{D-D}}$$

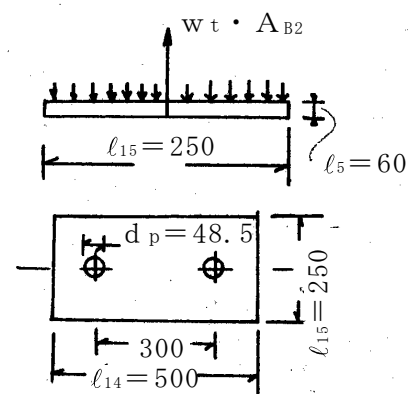
ここで、

$$M = \frac{l_{15}}{4} \cdot w_t \cdot A_{B2}$$

$$Z_{D-D} = \frac{1}{6} \cdot (l_{14} - 2 \cdot d_p) \cdot l_5^2 = 2.418 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

- (3) アンカープレートによるコンクリートのせん断応力

$$\tau_c = \frac{2 \cdot w_t \cdot A_{B2}}{(\ell_{BPO} + \ell_{BPI}) \cdot l_4}$$



(単位 : mm)

4.4.2.3 補強リブ及びベースプレート（応力評価点 P 4 及び P 5）

(1) 設計荷重

補強リブ及びベースプレートに加わるせん断力を表 4-19 及び表 4-20 に示す。

表 4-19 補強リブ及びベースプレートの荷重（設計基準対象施設）

荷重の組合せ	荷重	せん断力 (N)
D + P + M + S _d *		2.32 × 10 ⁷
D + P + M + S _s		3.98 × 10 ⁷
D + P _L + M _L + S _d		2.32 × 10 ⁷

表 4-20 補強リブ及びベースプレートの荷重（重大事故等対処設備）

荷重の組合せ	荷重	せん断力 (N)
D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s		3.98 × 10 ⁷
D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d		2.32 × 10 ⁷

(2) サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部の応力

a. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{w_t \cdot t_1 \cdot \ell_R}{A_2}$$

ここで、

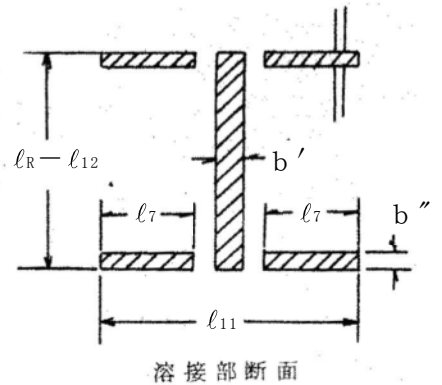
$$b' = \ell_6 = 38 \text{ mm}$$

$$b'' = \ell_{12} = 22 \text{ mm}$$

$$\ell_7 = 191 \text{ mm}$$

A₂ : 溶接部の断面積

$$= 2 \cdot b'' \cdot \ell_7 + b' \cdot (\ell_R - \ell_{12}) = 3.037 \times 10^4 \text{ mm}^2$$



b. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{n_R \cdot A_2}$$

ここで、

n_R : 補強リブの数 = 136

F : せん断力

c. 合成応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

(3) 補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{w_c \cdot t_2 \cdot \ell_R}{A_3}$$

ここで、

$$A_3 : \text{補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の断面積} \\ = \ell_6 \cdot \ell_R + \ell_8 \cdot \ell_{12} = 2.632 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

(4) ベースプレートの曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \frac{\beta \cdot b^2}{t^2} \cdot q$$

ここで、

β : R. J. ROARK "FORMULAS FOR STRESS AND STRAIN" 4TH EDITION の 227 ページ TABLE45 に示される 1 辺固定, 1 辺自由, 2 辺支持の平板に等分布荷重が加わるものと仮定して計算した値

$$\beta = 2.304$$

$$a : \ell_R = 600.0 \text{ mm}$$

$$b : \ell_9 = \ell_{10} = 231 \text{ mm}$$

$$t : \ell_3 = 60 \text{ mm}$$

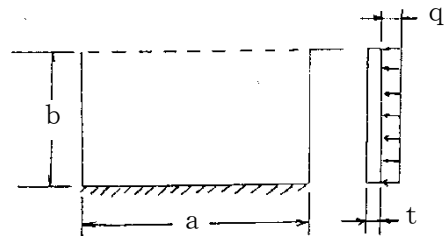
$$\frac{a}{b} = \frac{600.0}{231} = 2.597$$

q : 引張側

$$= \frac{w_t \cdot t_1 \cdot \ell_R}{2 \cdot a \cdot b}$$

q : 圧縮側

$$= \frac{w_c \cdot t_2 \cdot \ell_R}{2 \cdot a \cdot b}$$



4.5 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、本計算書の 4.2 項 荷重の組合せ及び許容限界及び 4.3 項 設計用地震力に示す。

4.6 応力の評価

4.4 項 計算方法で求めた応力は表 4-8 から表 4-11 に記載される値以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

胴アンカー部の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表 5-1 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 5-2 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ 及び $D + P_L + M_L + S_d$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位	応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
			発生値	許容値		
			MPa	MPa		
胴アンカー部	アンカーボルト	引張応力	59	452	○	
	アンカープレート	曲げ応力	22	273	○	
	ベースプレート	曲げ応力 (引張側)	42	273	○	
		曲げ応力 (圧縮側)	111	273	○	
	補強リブ	引張応力	11	237	○	
		圧縮応力	35	223	○	
		せん断応力	6	136	○	
		組合せ応力	16	237	○	
	コンクリート	圧縮応力	1.4	14.6	○	単位N/mm ²
		せん断応力	0.2	1.0	○	単位N/mm ²

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する応力評価結果 (D + P + M + S_s 及び D + P_L + M_L + S_d)

評価対象設備	評価部位	応力分類	IV _A S		判定	備考
			発生値	許容値		
			MPa	MPa		
胴アンカー部	アンカーボルト	引張応力	288	452	○	②*
	アンカープレート	曲げ応力	106	328	○	②*
	ベースプレート	曲げ応力 (引張側)	203	328	○	②*
		曲げ応力 (圧縮側)	185	328	○	①*
	補強リブ	引張応力	55	284	○	②*
		圧縮応力	57	264	○	①*
		せん断応力	10	164	○	①*
		組合せ応力	56	284	○	②*
	コンクリート	圧縮応力	6.8	18.7	○	②* 単位 N/mm ²
		せん断応力	0.6	1.0	○	②* 単位 N/mm ²

注記 * : ① : D + P + M + S_s / ② : D + P_L + M_L + S_dにおける結果を示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

胴アンカー部の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価

許容応力状態 V_{AS} に対する応力評価結果を表 5-3 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ 及び $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

表 5-3 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ 又は $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			発生値	許容値		
			MPa	MPa		
胴アンカー部	アンカーボルト	引張応力	364	452	○	②*
	アンカープレート	曲げ応力	134	317	○	②*
	ベースプレート	曲げ応力 (引張側)	256	317	○	②*
		曲げ応力 (圧縮側)	—	—	—	
	補強リブ	引張応力	69	275	○	②*
		圧縮応力	—	—	—	
		せん断応力	10	160	○	①*
		組合せ応力	70	275	○	②*
	コンクリート	圧縮応力	8.6	18.7	○	②*
		せん断応力	0.7	1.0	○	①*②*

注記 * : ① : $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ / ② : $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ における結果を示す。