

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-347 改1
提出年月日	平成30年8月10日

## V-2-6-4-1-2 ほう酸水貯蔵タンク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
3. 構造強度評価	2
3.1 構造強度評価方法	2
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	2
4. 評価結果	7
4.1 設計基準対象施設としての評価結果	7
4.2 重大事故等対処設備としての評価結果	7

1. 概要

本計算書は、「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の設計方針に基づき、ほう酸水貯蔵タンク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。

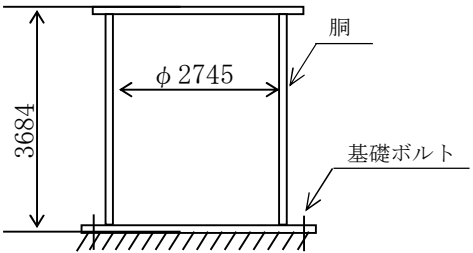
ほう酸水貯蔵タンクは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、**設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価**を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ほう酸水貯蔵タンクの構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
底板により床に基礎ボルトで設置する。	下面及び上面に平板を有するたて置円筒形容器	 <p style="text-align: right;">(単位: mm)</p>

### 3. 構造強度評価

#### 3.1 構造強度評価方法

ほう酸水貯蔵タンクの構造は平底たて置円筒形容器であるため、構造強度評価は、「V-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

#### 3.2 荷重の組合せ及び許容応力

##### 3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ほう酸水貯蔵タンク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3-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

##### 3.2.2 許容応力

ほう酸水貯蔵タンクの許容応力を表3-3～表3-4に示す。

##### 3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ほう酸水貯蔵タンクの使用材料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3-5に、重大事故等対処施設の評価に用いるものを表3-6に示す。

表 3-1 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 重要分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統設備	ほう酸水 注入設備	ほう酸水貯蔵タンク	S	クラス 2 容器*	$D + P_D + M_D + S_d$	Ⅲ A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ A S

注記 \*：クラス 2 容器の支持構造物を含む。

表 3-2 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* <sup>1</sup>	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統設備	ほう酸水 注入設備	ほう酸水貯蔵タンク	常設耐震／防止	重大事故等* <sup>2</sup> クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s$ * <sup>3</sup>	Ⅳ A S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V A S (V A Sとして Ⅳ A Sの許容限界 を用いる)

注記 \*<sup>1</sup>：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

\*<sup>2</sup>：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

\*<sup>3</sup>：「 $D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界*1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
III <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> の小さい方 ただし、オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と1.2・ Sとの大きい方	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は基準地震動S <sub>s</sub> のみによる疲労解析 を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S <sub>y</sub> 以下であれば、疲労解析は行わない。	
IV <sub>A</sub> S	0.6・S <sub>u</sub>	左欄の1.5倍の値		
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの 許容限界を用いる。)			基準地震動S <sub>s</sub> のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S <sub>y</sub> 以下であれば、疲労解析は行わない。	

注記 \*1: 座屈に対する評価は、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

\*2: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略

表 3-4 許容応力 (クラス 2, 3 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 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$ *	$1.5 \cdot f_s$ *
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)		

5

注記 \*1: 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。

\*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5 使用材料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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		胴板	SUS304	最高使用温度	66	126	188
基礎ボルト		周囲環境温度		—	764	906	—

表 3-6 使用材料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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		胴板	SUS304	最高使用温度	66	126	188
基礎ボルト		周囲環境温度		—	730	868	—



#### 4. 評価結果

##### 4.1 設計基準対象施設としての評価結果

ほう酸水貯蔵タンク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。発生値は評  
許容限界を満足しており，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確認し  
た。

###### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

##### 4.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ほう酸水貯蔵タンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。  
発生値は許容限界を満足しており，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  
を確認した。

###### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ほう酸水貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
ほう酸水貯蔵タンク	S	原子炉建屋 EL. 38.8 *	<input type="text"/>	<input type="text"/>	C <sub>H</sub> = 1.03	C <sub>V</sub> = 0.76	C <sub>H</sub> = 1.67	C <sub>V</sub> = 1.44	静水頭	66	<input type="text"/>	1.07

注記 \* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>e</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ <sub>g</sub> (mm)	H (mm)	s	n
<input type="text"/>	<input type="text"/>	2745	5.0	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

D <sub>c</sub> (mm)	D <sub>b.o</sub> (mm)	D <sub>b.i</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>y</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>u</sub> (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S <sub>y</sub> (基礎ボルト) (MPa)	S <sub>u</sub> (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	188 *1	479 *1	126 *1	764 *2	906 *2	634 *2	634 *2

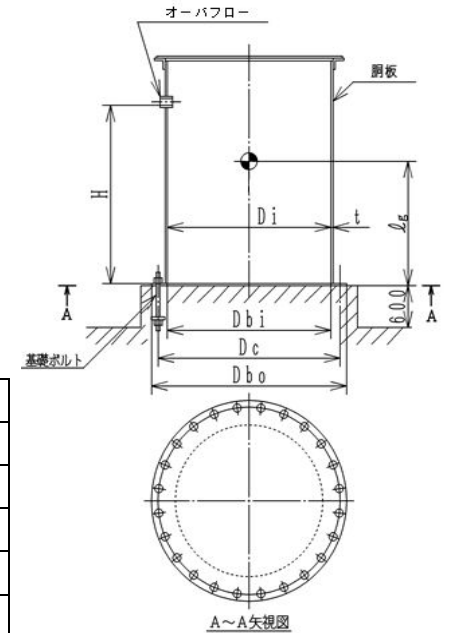
注記 \*1: 最高使用温度で算出  
\*2: 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

応力の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	
静水頭による応力	σ <sub>φ1</sub> = 10	—	—	σ <sub>φ1</sub> = 10	—	—	
鉛直方向地震による引張応力	σ <sub>φ2</sub> = 8	—	—	σ <sub>φ2</sub> = 15	—	—	
空質量による圧縮応力	—	σ <sub>X2</sub> = 1	—	—	σ <sub>X2</sub> = 1	—	
鉛直方向地震による軸方向応力	—	σ <sub>X3</sub> = 1	—	—	σ <sub>X3</sub> = 1	—	
水平方向地震による応力	—	σ <sub>X4</sub> = 15	τ = 12	—	σ <sub>X4</sub> = 23	τ = 19	
応力の和	引張側	σ <sub>φ</sub> = 18	σ <sub>Xt</sub> = 14	—	σ <sub>φ</sub> = 25	σ <sub>Xt</sub> = 24	
	圧縮側	σ <sub>φ</sub> = -18	σ <sub>Xc</sub> = 15	—	σ <sub>φ</sub> = -25	σ <sub>Xc</sub> = 24	
組合せ応力	引張り	σ <sub>0t</sub> = 28			σ <sub>0t</sub> = 42		
	圧縮	σ <sub>0c</sub> = 19			σ <sub>0c</sub> = 30		



(単位: MPa)

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

応力の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{\phi 2} = 8$	$\sigma_{X3} = 1$	—	$\sigma_{\phi 2} = 15$	$\sigma_{X3} = 1$	—	
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{X4} = 15$	$\tau = 12$	—	$\sigma_{X4} = 23$	$\tau = 19$	
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi} = 8$	$\sigma_{2Xt} = 15$	—	$\sigma_{2\phi} = 15$	$\sigma_{2Xt} = 24$	
	圧縮側	$\sigma_{2\phi} = -8$	$\sigma_{2Xc} = 15$	—	$\sigma_{2\phi} = -15$	$\sigma_{2Xc} = 24$	
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2t} = 46$			$\sigma_{2t} = 76$		
	圧縮	$\sigma_{2c} = 39$			$\sigma_{2c} = 62$		

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
引張応力	$\sigma_b = 24$	$\sigma_b = 52$
せん断応力	$\tau_b = 15$	$\tau_b = 24$

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304	一次一般膜	$\sigma_0 = 28$	S <sub>a</sub> = 188	$\sigma_0 = 42$	S <sub>a</sub> = 287
		一次+二次	$\sigma_2 = 46$	S <sub>a</sub> = 377	$\sigma_2 = 76$	S <sub>a</sub> = 377
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{X2} + \sigma_{X3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{X4}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{X2} + \sigma_{X3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{X4}}{f_b} \leq 1$	
			0.13 (無次元)	0.20 (無次元)		
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b = 24$	f <sub>t s</sub> = 475 *	$\sigma_b = 52$	f <sub>t s</sub> = 475 *
		せん断	$\tau_b = 15$	f <sub>s b</sub> = 366	$\tau_b = 24$	f <sub>s b</sub> = 366

すべて許容応力以下である。

注記\* : f<sub>t s</sub> = Min[1.4 · f<sub>t o</sub> - 1.6 · τ<sub>b</sub>, f<sub>t o</sub>]より算出

【ほう酸水貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
ほう酸水貯蔵タンク	常設耐震/防止	原子炉建屋 EL. 38.8 *	<input type="text"/>	<input type="text"/>	C <sub>H</sub> = -	C <sub>V</sub> = -	C <sub>H</sub> = 1.67	C <sub>V</sub> = 1.44	静水頭	66	<input type="text"/>	1.07

注記 \* : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>e</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ <sub>g</sub> (mm)	H (mm)	s	n
<input type="text"/>	<input type="text"/>	2745	5.0	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

D <sub>c</sub> (mm)	D <sub>b0</sub> (mm)	D <sub>b1</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>y</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>u</sub> (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S <sub>y</sub> (基礎ボルト) (MPa)	S <sub>u</sub> (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	188 *1	479 *1	126 *1	730 *2	868 *2	607 *2	607 *2

注記 \*1 : 最高使用温度で算出  
\*2 : 周囲環境温度で算出

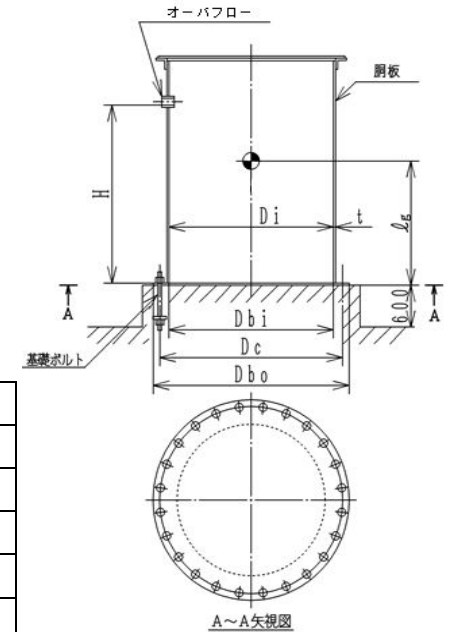
2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

応力の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力	-	-	-	σ <sub>φ1</sub> = 10	-	-
鉛直方向地震による引張応力	-	-	-	σ <sub>φ2</sub> = 15	-	-
空質量による圧縮応力	-	-	-	-	σ <sub>x2</sub> = 1	-
鉛直方向地震による軸方向応力	-	-	-	-	σ <sub>x3</sub> = 1	-
水平方向地震による応力	-	-	-	-	σ <sub>x4</sub> = 23	τ = 19
応力の和	引張側	-	-	σ <sub>φ</sub> = 25	σ <sub>x t</sub> = 24	-
	圧縮側	-	-	σ <sub>φ</sub> = -25	σ <sub>x c</sub> = 24	-
組合せ応力	引張り	-	-	-	σ <sub>o t</sub> = 42	-
	圧縮	-	-	-	σ <sub>o c</sub> = 30	-

(単位 : MPa)



(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

応力の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 15$	$\sigma_{x3} = 1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4} = 23$	$\tau = 19$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 15$	$\sigma_{2xt} = 24$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi} = -15$	$\sigma_{2xc} = 24$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—			$\sigma_{2t} = 76$	
	圧縮	—			$\sigma_{2c} = 62$	

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
引張応力	—	$\sigma_b = 52$
せん断応力	—	$\tau_b = 24$

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	<input type="text"/>
鉛直方向	<input type="text"/>

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 42$	S <sub>a</sub> = 287
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 76$	S <sub>a</sub> = 377
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	—	—	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$	0.20 (無次元)
基礎ボルト	<input type="text"/>	引張り	—	—	$\sigma_b = 52$	f <sub>ts</sub> = 455 *
		せん断	—	—	$\tau_b = 24$	f <sub>sb</sub> = 350

すべて許容応力以下である。

注記\* : f<sub>ts</sub> = Min[1.4 · f<sub>to</sub> - 1.6 · τ<sub>b</sub>, f<sub>to</sub>]より算出