

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-780 改2
提出年月日	平成30年8月23日

## V-2-9-4-1 ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
1.1 基本方針	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容限界	6
5. 応力計算	8
5.1 応力評価点	8
5.2 解析方針	10
6. 評価結果	12
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	12

## 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、ダイヤフラム・フロア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。その耐震評価はダイヤフラム・フロアの地震応答解析、応力評価により行う。

ダイヤフラム・フロアは設計基準対象施設においては既設の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。なお、ダイヤフラム・フロアはコンクリート構造物であり、重大事故等対処設備としての評価は設計基準対象施設としての評価に包絡される。以下、設計基準対象施設としての耐震評価を示す。

### 1.1 基本方針

ダイヤフラム・フロアの応力評価は、発電用原子力設備規格（コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE1-2003）（日本機械学会 2003年12月）（以下「CCV規格」という。）、鋼構造設計規準（日本建築学会 2005年改定）、各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会 2010年改定）を適用して評価する。

2. 構造説明

2.1 構造計画

ダイヤフラム・フロアの構造計画を表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	
<p>ダイヤフラム・フロアは鉛直方向を原子炉本体の基礎と柱によって支持され、水平方向はシアラグによって支持される。</p>	<p>外径 <input type="text"/> mm, 内径 <input type="text"/> mm, スラブ厚さ <input type="text"/> mm (強度部材), <input type="text"/> mm (断熱材を含む) の鉄筋コンクリート造スラブである。</p>	<p>原子炉格納容器</p> <p>ダイヤフラム・フロア</p> <p>断熱層 (コンクリート)</p> <p>構造用スラブ</p> <p>シヤ-コネクタ</p> <p>鉄骨梁</p> <p>柱</p> <p>ダイヤフラム・フロア 拡大図</p>

## 2.2 評価方針

- (1) 各荷重による応力評価は、三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3. 形状及び主要寸法

構造概要を図3-1に示す。

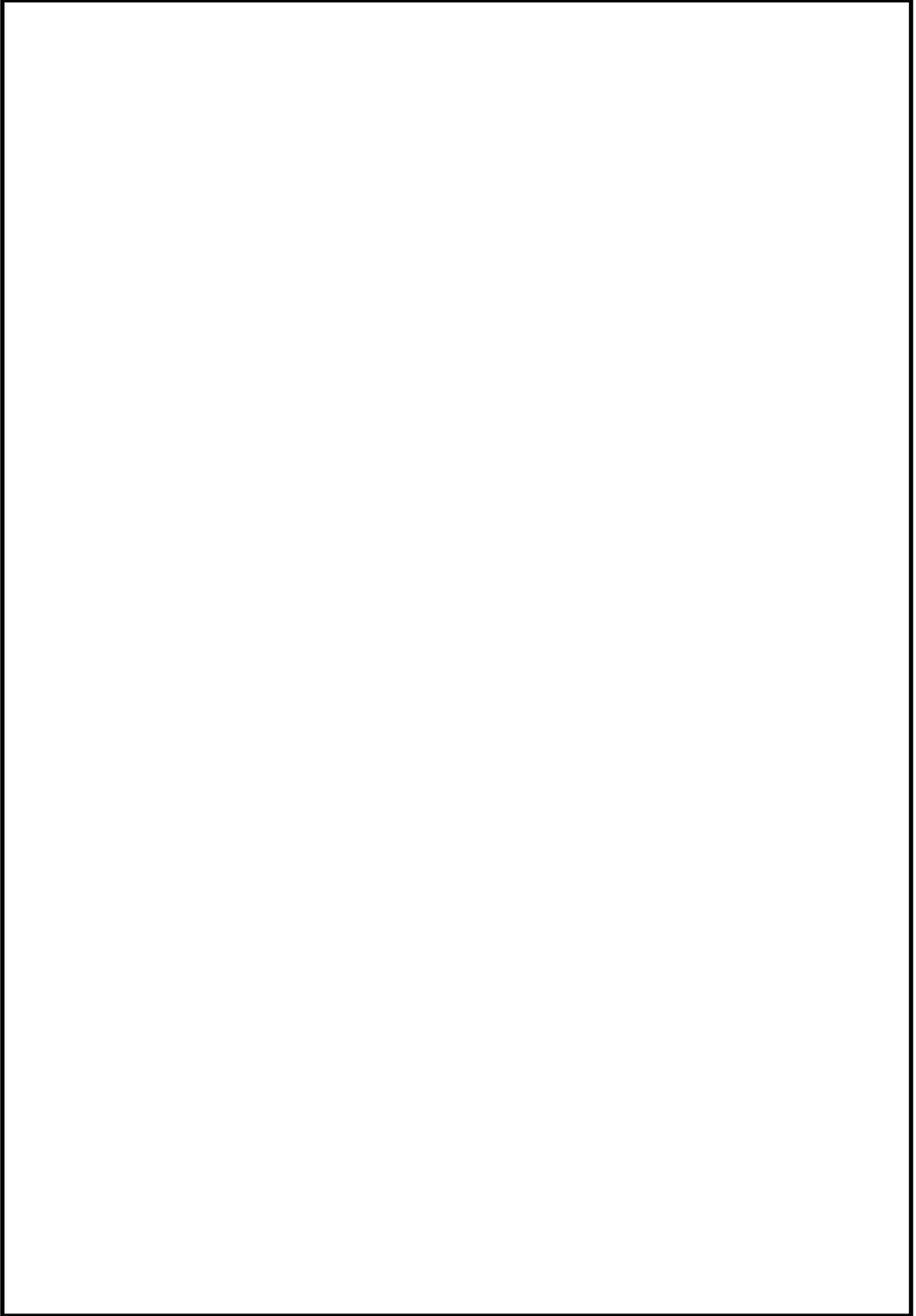


図 3-1 構造概要図 (単位 : mm)

4. 設計条件

4.1 設計荷重

設計基準対象施設の評価に用いる設計荷重を表4-1に示す。地震荷重は添付書類「V-2-1 耐震設計の基本方針」及び添付書類「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」より設定する。

表4-1 設計荷重

荷 重			鉄筋コンクリートスラブに作用する荷重	直接鉄骨大ばりに作用する荷重	コラムポートに作用する荷重
D	DL	死荷重	V : スラブ用 <input type="text"/> kN/m <sup>2</sup> V : 鉄骨はり用 <input type="text"/> kN/m <sup>2</sup>	V : 最大 <input type="text"/> kN	V : <input type="text"/> kN/m
O	P <sub>1</sub>	通常運転時	圧力 V : <input type="text"/> kN/m <sup>2</sup>	—	—
	T <sub>1</sub>		温度 上下面温度差 <input type="text"/> °C	—	—
	H <sub>1</sub>	逃し安全弁作動時 空気泡圧力による荷重	R : <input type="text"/> kN/ベント管 1 本	—	—
L	P <sub>2</sub>	地震と組合せる異常時圧力	V : 10 <sup>-1</sup> 年後 <input type="text"/> kN/m <sup>2</sup>	—	—
	T <sub>2</sub>	地震と組合せる異常時温度	10 <sup>-1</sup> 年後上下面温度差 <input type="text"/> °C	—	—
S <sub>d</sub> *	K <sub>1</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> により定まる地震力又は静的地震力	H : 11400 kN V : 鉛直震度 ±0.24	R <sub>1</sub> : 最大 ±1454 kN	—
S <sub>s</sub>	K <sub>2</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub> により定まる地震力	H : 18600 kN V : 鉛直震度 ±1.08	R <sub>2</sub> : 最大 ±2782 kN	—

注1 : Vは鉛直方向を示す。(下向きを正とする。)

注2 : Hは水平方向を示す。

#### 4.2 材料及び許容限界

設計基準強度  $F_c = 27.4 \text{ N/mm}^2$

鉄筋 SD345\* (SD35)

構造用鋼材 SM400B\* (SM41), SS400\* (SS41)

\* : 新JISを示す

各材料の許容応力度を表 4-2～表 4-6 に示す。

設計基準対象施設の評価に用いる（荷重状態Ⅲ，Ⅳ）の荷重組合せを表 4-7 に示す。

表 4-2 コンクリートの許容圧縮応力度

(単位 :  $\text{N/mm}^2$ )

荷重状態	応力状態 1 * <sup>1</sup>	応力状態 2 * <sup>2</sup>
Ⅲ	18.2	20.5

注記 \*1 : 各荷重状態において、温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態。

\*2 : 各荷重状態において、応力が生じている状態。

表 4-3 コンクリートの許容せん断応力度

(単位 :  $\text{N/mm}^2$ )

荷重状態	許容値
Ⅲ	1.14

表 4-4 鉄筋の許容応力度

(単位 :  $\text{N/mm}^2$ )

荷重状態	許容値	
	圧縮及び引張り	せん断
Ⅲ, Ⅳ	345	345

表4-5 鉄筋とコンクリートの許容ひずみ

荷重状態	鉄筋		コンクリート 圧縮
	引張り	圧縮	
IV	0.005	0.005	0.003

表4-6 構造用鋼材の許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

	材 料	板厚	F 値	許容応力度
構造用鋼材	SM400B	40 ≥	235	左記Fの値より求める。
	SS400	40 <	215	

表4-7 荷重の組合せ

荷重状態	荷重時名称	地震荷重	荷重番号	荷重の組合せ
III	地 震 時	S <sub>d</sub> *	4	D L + P <sub>1</sub> + T <sub>1</sub> + H <sub>1</sub> + R <sub>1</sub> + K <sub>1</sub>
IV	地 震 時	S <sub>s</sub>	5	D L + P <sub>1</sub> + T <sub>2</sub> + H <sub>1</sub> + R <sub>2</sub> + K <sub>2</sub>
	(異常* + 地震)時	S <sub>d</sub> *	6	D L + P <sub>2</sub> + T <sub>2</sub> + R <sub>1</sub> + K <sub>1</sub>

注：異常時の圧力と温度と配管荷重については時間のずれを考慮する。

注記 \*：地震荷重と組み合わせる場合は、異常発生直後を除くその後の状態の荷重と組み合わせる。

## 5. 応力計算

### 5.1 応力評価点

ダイヤフラム・フロアの形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
No. 1	RC スラブ 中間
No. 2	RC スラブ 端部
No. 3	RC スラブ ベント管近傍
No. 4	RC スラブ ベント管近傍

NT2 補② V-2-9-4-1 R2

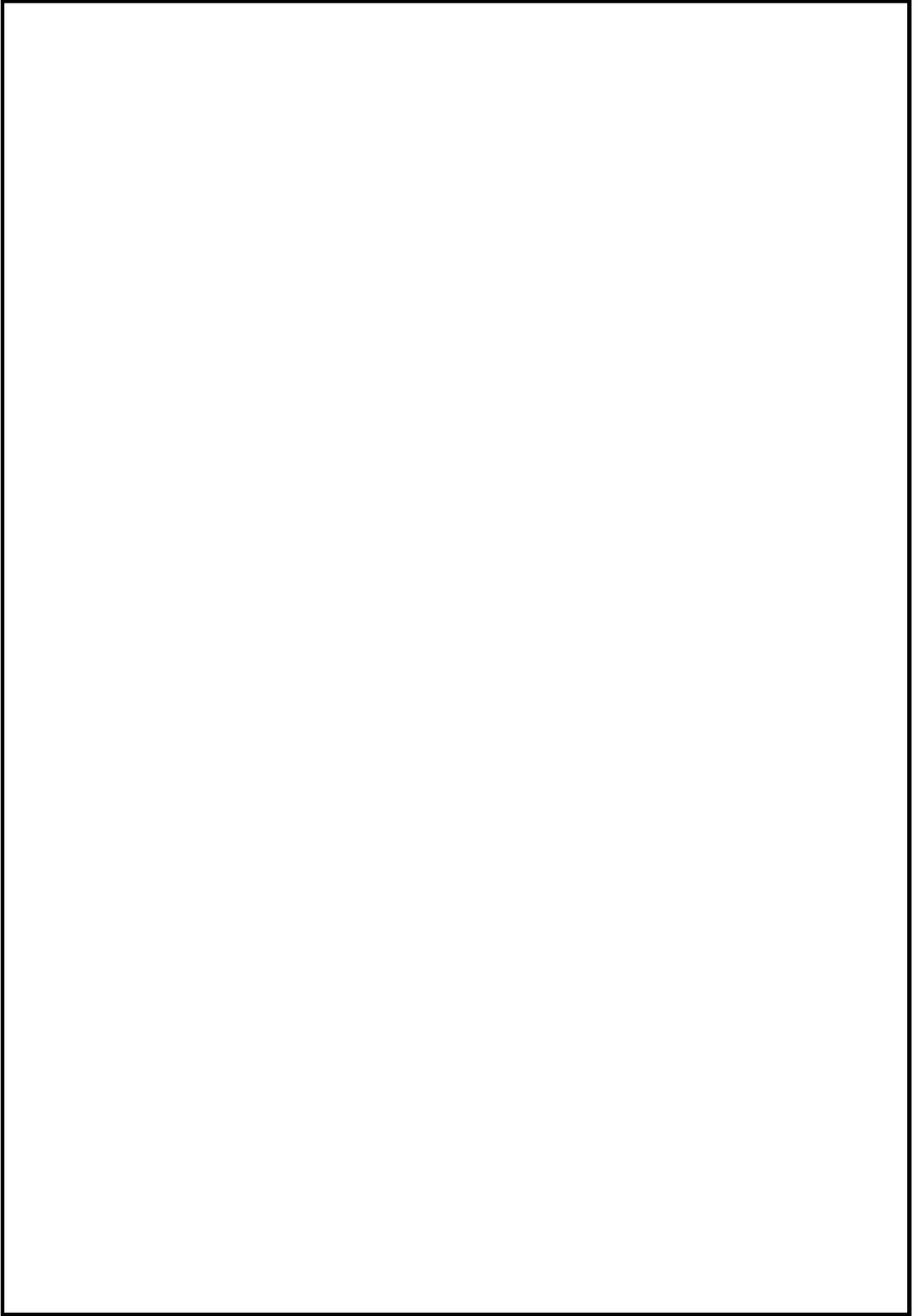


図5-1 解析モデル（ダイヤフラム・フロアの応力評価点）

## 5.2 解析方針

各荷重によりダイヤフラム・フロアに生じる応力は、解析コードMSC NA STRANを使用して解析する。ダイヤフラム・フロアの解析モデルを図 5-1 に示す。

ダイヤフラム・フロアは鉛直方向を原子炉本体の基礎と柱によって支持され、水平方向はシアラグによって支持されている軸対称形の構造をしている。解析では、鉄筋コンクリートスラブ、鉄骨の大梁、小梁、柱を含む 360° 全体をモデル化した。非対称形の荷重に対応できるように三次元的にモデル化し有限要素法による弾性解析を行っている。

鉄筋コンクリートは、有限要素分割は四辺形及び三角形を用いることで板の曲げと膜力を同時に考慮している。また、鉄骨の大梁、小梁、柱ははり要素を用いて、軸力、曲げ、せん断力を同時に評価できるようにしている。

解析に用いる材料の物性値は次のとおりとする。

コンクリートのヤング係数	$E_c = 2.43 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
コンクリートのせん断弾性係数	$G_c = 1.04 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
コンクリートのポアソン比	$\nu_c = 0.167$
コンクリートの線膨張係数	$\alpha_c = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
鉄筋コンクリートの単位体積質量	$\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$
鉄骨のヤング係数	$E_s = 2.06 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$
鉄骨のポアソン比	$\nu_s = 0.3$
鉄骨の線膨張係数	$\alpha_s = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
鉄骨の単位体積質量	$\gamma_s = 77 \text{ kN/m}^3$

表5-2 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値	
			鉄筋コンクリート	鉄骨部
材質	—	—	コンクリート, SD345	SM400B, SS400
質量	m <sub>0</sub>	kg	— *1	— *1
縦弾性係数	E	MPa	— *2	— *2
ポアソン比	ν	—	0.167	
要素数	—	個		
節点数	—	個		

注記 \*1：単位荷重による解析のため、質量の入力は不要。

\*2：動的応答を考慮しない為、剛性（縦弾性係数）は解析結果に影響しない。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ダイヤフラム・フロアの設計基準対象施設としての評価を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 鉄筋コンクリート部

鉄筋コンクリート部の解析結果とそれに基づく断面算定結果を表 6-1～表 6-6 に示す。

表 6-1 荷重状態Ⅲの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（円周方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a <sub>tx</sub> (mm <sup>2</sup> /m)	引張応力及び圧縮応力			許容値			判定
					N <sub>x</sub> (kN/m)	M <sub>x</sub> (kN・m/m)		cσ <sub>c</sub> N/mm <sup>2</sup>	sσ <sub>c</sub> N/mm <sup>2</sup>	sσ <sub>t</sub> N/mm <sup>2</sup>	cfc N/mm <sup>2</sup>	sfc N/mm <sup>2</sup>	sft N/mm <sup>2</sup>	
No.1	Ⅲ	cσ <sub>c</sub>	4	2	-107	-9	3380	-0.5	-6.5	-0.3	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ <sub>t</sub>	4	2	-98	-9	3380	-0.5	-6.2	0.2	-20.5	-345	345	可
No.2	Ⅲ	cσ <sub>c</sub>	4	2	-2699	103	16900	-4.3	-60.2	-31.2	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ <sub>t</sub>	4	2	3187	103	16900	0.0	73.8	114.8	-20.5	-345	345	可
No.3	Ⅲ	cσ <sub>c</sub>	4	2	-587	-136	13520	-2.8	-34.1	15.5	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ <sub>t</sub>	4	2	485	-136	13520	-1.4	-11.1	51.6	-20.5	-345	345	可
No.4	Ⅲ	cσ <sub>c</sub>	4	2	-638	-170	13520	-3.4	-41.0	22.5	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ <sub>t</sub>	4	2	672	-170	13520	-1.6	-12.4	67.2	-20.5	-345	345	可

注1：□ は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-2 荷重状態Ⅳの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（円周方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a <sub>tx</sub> (mm <sup>2</sup> /m)	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
					N <sub>x</sub> (kN/m)	M <sub>x</sub> (kN・m/m)		cε <sub>c</sub> (×10 <sup>6</sup> )	sε <sub>c</sub> (×10 <sup>6</sup> )	sε <sub>t</sub> (×10 <sup>6</sup> )	cε <sub>cu</sub> (×10 <sup>6</sup> )	sε <sub>cu</sub> (×10 <sup>6</sup> )	sε <sub>tu</sub> (×10 <sup>6</sup> )	
No.1	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	5	1	15	-4	3380	-6	-2	28	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	6	1	8	-4	3380	-8	-4	26	-3000	-5000	5000	可
No.2	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	5	1	5253	178	16900	0	585	932	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	6	1	2941	114	16900	0	314	536	-3000	-5000	5000	可
No.3	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	5	1	1004	-226	13520	-126	-55	455	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	6	1	560	-130	13520	-75	-34	259	-3000	-5000	5000	可
No.4	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	5	1	1207	-281	13520	-161	-73	558	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	6	1	673	-164	13520	-97	-46	320	-3000	-5000	5000	可

注1：□ は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-3 面外せん断力による検討結果（円周方向）

箇所名	荷重状態	荷重番号	応力状態	設計応力		Q <sub>x</sub> (N/mm)	許容値	判定
				M <sub>x</sub> (kN・m/m)	Q <sub>x</sub> (kN/m)		Q <sub>A1</sub> (N/mm)	
No.1	Ⅲ	4	2	-10	11	11	339	可
	Ⅳ	5	1	-4	16	16	339	可
No.2	Ⅲ	4	2	103	-256	256	5400	可
	Ⅳ	5	1	178	-361	361	5400	可
No.3	Ⅲ	4	2	-136	751	751	3780	可
	Ⅳ	5	1	-227	1292	1292	3780	可
No.4	Ⅲ	4	2	-171	-184	184	3780	可
	Ⅳ	5	1	-282	-304	304	3780	可

注1：  は面外せん断力の最大値を示す。

表 6-4 荷重状態Ⅲの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（半径方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a <sub>ty</sub> (mm <sup>2</sup> /m)	引張応力及び圧縮応力			許容値			判定
					N <sub>y</sub> (kN/m)	M <sub>y</sub> (kN・m/m)		cσ <sub>c</sub> N/mm <sup>2</sup>	sσ <sub>c</sub> N/mm <sup>2</sup>	sσ <sub>t</sub> N/mm <sup>2</sup>	cfc N/mm <sup>2</sup>	sfc N/mm <sup>2</sup>	sft N/mm <sup>2</sup>	
No.1	Ⅲ	cσ <sub>c</sub>	4	2	13	32	3380	-1.2	-11.0	34.1	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ <sub>t</sub>	4	2	88	32	3380	-1.0	-7.1	45.0	-20.5	-345	345	可
No.2	Ⅲ	cσ <sub>c</sub>	4	2	-295	9	16900	-0.5	-6.3	-3.8	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ <sub>t</sub>	4	2	382	9	16900	0.0	9.6	13.1	-20.5	-345	345	可
No.3	Ⅲ	cσ <sub>c</sub>	4	2	-89	-226	13520	-3.5	-39.3	54.2	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ <sub>t</sub>	4	2	38	-226	13520	-3.4	-36.6	58.5	-20.5	-345	345	可
No.4	Ⅲ	cσ <sub>c</sub>	4	2	-291	-92	13520	-1.8	-21.2	13.8	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ <sub>t</sub>	4	2	242	-92	13520	-1.1	-9.8	31.9	-20.5	-345	345	可

注1:  は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-5 荷重状態Ⅳの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（半径方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a <sub>ty</sub> (mm <sup>2</sup> /m)	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
					N <sub>y</sub> (kN/m)	M <sub>y</sub> (kN・m/m)		cε <sub>c</sub> (×10 <sup>6</sup> )	sε <sub>c</sub> (×10 <sup>6</sup> )	sε <sub>t</sub> (×10 <sup>6</sup> )	cε <sub>cu</sub> (×10 <sup>6</sup> )	sε <sub>cu</sub> (×10 <sup>6</sup> )	sε <sub>tu</sub> (×10 <sup>6</sup> )	
No.1	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	5	1	124	63	3380	-119	-56	389	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	6	1	68	37	3380	-71	-34	227	-3000	-5000	5000	可
No.2	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	5	1	605	19	16900	0	70	106	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	6	1	339	12	16900	0	38	61	-3000	-5000	5000	可
No.3	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	5	1	18	-395	13520	-375	-268	490	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	6	1	14	-222	13520	-209	-149	277	-3000	-5000	5000	可
No.4	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	5	1	490	-156	13520	-107	-59	278	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε <sub>t</sub>	6	1	274	-90	13520	-62	-35	159	-3000	-5000	5000	可

注1:  は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-6 面外せん断力による検討結果（半径方向）

箇所名	荷重状態	荷重番号	応力状態	設計応力		Q <sub>y</sub> (N/mm)	許容値 Q <sub>A1</sub> (N/mm)	判定
				M <sub>y</sub> (kN・m/m)	Q <sub>y</sub> (kN/m)			
No.1	Ⅲ	4	2	33	-26	26	339	可
	Ⅳ	5	1	64	-39	39	339	可
No.2	Ⅲ	4	2	9	13	13	5400	可
	Ⅳ	5	1	19	20	20	5400	可
No.3	Ⅲ	4	2	-227	-477	477	3780	可
	Ⅳ	5	1	-396	-846	846	3780	可
No.4	Ⅲ	4	2	-93	302	302	3780	可
	Ⅳ	5	1	-157	529	529	3780	可

注1:  は面外せん断力の最大値を示す。

(2) 鉄骨部

鉄骨部の解析結果とそれに基づく評価結果を表 6-7～表 6-11 に示す。

表 6-7 大梁の水平方向荷重に対する評価結果

荷重 組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	組合せ (N/mm <sup>2</sup> )	許容値 (N/mm <sup>2</sup> )	
						せん断	曲げ 組合せ
(4)	144.1	1440.6	37.0	33.4	68.7	135	235
(5)	222.9	2228.5	57.2	51.6	106.2		
(6)	124.7	1247.5	32.1	28.9	59.5		

表 6-8 大梁の鉛直方向荷重に対する評価結果

荷重 組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	組合せ (N/mm <sup>2</sup> )	許容値 (N/mm <sup>2</sup> )	
						せん断	曲げ 組合せ
(4)	752.8	995.3	31.3	31.1	62.3	135	235
(5)	1105.7	1547.9	46.0	48.4	95.7		
(6)	723.1	1000.1	30.1	31.3	62.0		

表 6-9 小梁の評価結果

荷重 組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	組合せ (N/mm <sup>2</sup> )	許容値 (N/mm <sup>2</sup> )	
						せん断	曲げ 組合せ
(4)	627.7	380.1	70.0	26.4	83.7	135	235
(5)	1019.5	645.1	113.6	44.8	137.6		
(6)	646.4	379.3	72.0	26.4	85.3		

表 6-10 柱の評価結果

荷重 組合せ	N (kN)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容値 (N/mm <sup>2</sup> )
(4)	2349.8	52440	44.9	144
(5)	3426.8		65.4	
(6)	2355.1		45.0	

表 6-11 シアコネクタの評価結果

荷重 組合せ	F (kN)	T (kN/本)	本数	許容値 (kN/本)
(4)	1440.6	40.1	36	82
(5)	2228.5	61.9		
(6)	1247.5	34.7		