

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添-2-052 改2
提出年月日	2020年7月9日

V-2-11-2-3 中央制御室天井照明の耐震性についての計算書

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-11-2-3 中央制御室天井照明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 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	19
4.5 設計用地震力	26
4.6 計算方法	31
4.6.1 応力の計算方法	31
4.7 計算条件	33
4.8 応力の評価	34
4.8.1 天井はりから溝形鋼A, ボックス鋼B~D, CSチャンネルEまでの応力評価	34
4.8.2 M10 灯具取付ボルトの応力評価	35
5. 評価結果	36
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	36
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	36

1. 概要

本資料は、V-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、下位クラス設備である中央制御室天井照明が設計用地震動に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である中央運転監視盤、運転監視補助盤（以下「主盤等」という。）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

中央制御室天井照明は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である主盤等の上部に設置されており、落下時に主盤等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

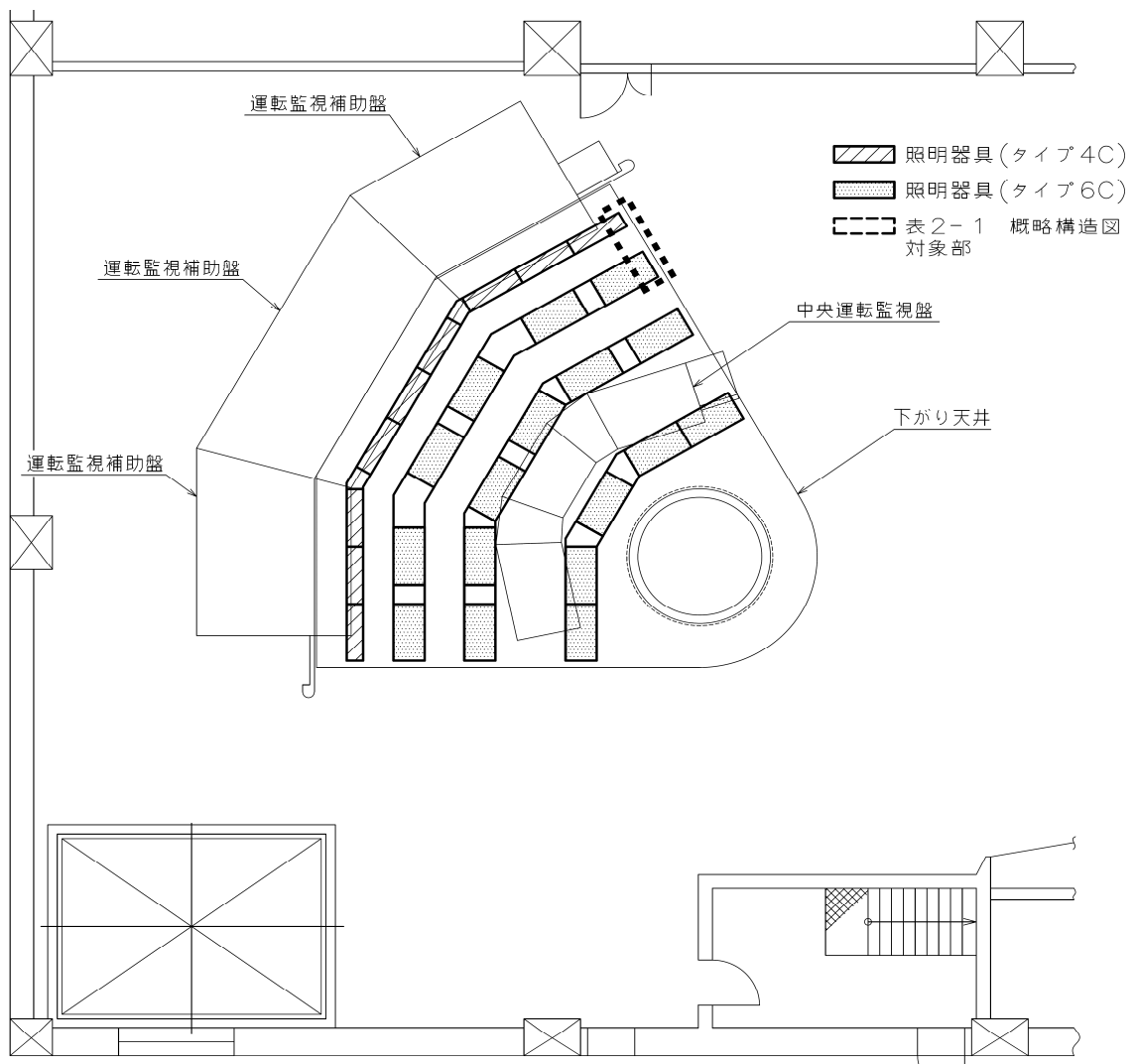


図2-1 中央制御室天井照明と主盤等の位置関係図

2.2 構造計画

中央制御室天井照明の構造計画を表 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>中央制御室天井照明は、コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1m の天井はりに①溝形鋼 A を取付け、その①溝形鋼 A から下ろした④ボックス鋼 D と天井はりに取付けた②ボックス鋼 B から下ろした⑥ボックス鋼 B、天井はりから直接下ろした⑤ボックス鋼 B を柱材とし、それらに⑦～⑪ボックス鋼 C, D をはり材として取付けている。照明器具を支持する M10 灯具取付ボルトは⑨、⑩ボックス鋼 C に取付けた⑫～⑭CS チャンネル E から吊られている。</p> <p>天井はりとの接続部及び各溝形鋼、ボックス鋼、CS チャンネルは溶接(完全拘束)されている。</p>	<p>吊り下げ型の照明装置</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

2

### 2.3 評価方針

中央制御室天井照明の応力評価は、V-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3. 耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す中央制御室天井照明の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において「4.4 固有周期」に示す固有振動数に基づく設計用地震力により応力等が許容限界内に収まることを、「4.6 計算方法」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。

天井はりを除く溝形鋼A, ボックス鋼B~D, CSチャンネルEは、中央制御室天井照明の構造上、一体構造物として3次元はりモデルによる解析を行う。

CSチャンネルEより下部は、解析により求められたM10灯具取付ボルトのCSチャンネルEへの取付位置における最大加速度による応力計算を行う。

中央制御室天井照明の耐震評価フローを図2-2に示す。

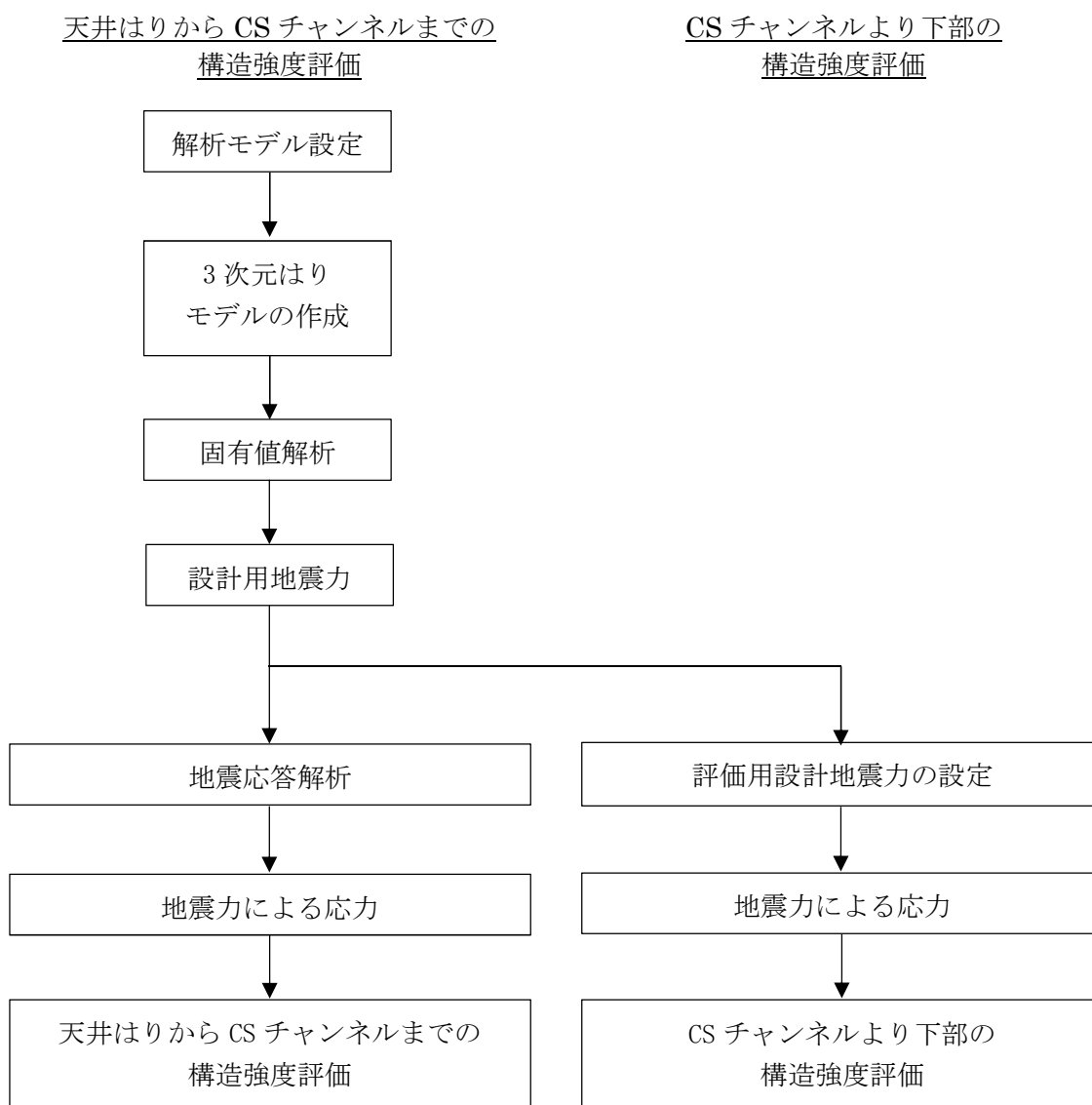


図2-2 中央制御室天井照明の耐震評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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  
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・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 （（社）日本電気協会）
- ・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）（以下「設計・建設規格」という。）

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>f</sub>	圧縮フランジの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	取付ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>x</sub>	X軸方向のせん断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	Y軸方向のせん断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>H1</sub>	天井はりから溝形鋼A, ボックス鋼B~D, CSチャンネルEまでの評価に用いる水平方向設計震度	—
C <sub>V1</sub>	天井はりから溝形鋼A, ボックス鋼B~D, CSチャンネルEまでの評価に用いる鉛直方向設計震度	—
C <sub>H2</sub>	CSチャンネルEより下部の評価に用いる水平方向設計震度	—
C <sub>V2</sub>	CSチャンネルEより下部の評価に用いる鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F <sup>*</sup>	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
f <sub>c</sub>	許容圧縮応力 (f <sub>c</sub> <sup>*</sup> を1.5倍した値)	MPa
f <sub>b</sub>	許容曲げ応力 (f <sub>b</sub> <sup>*</sup> を1.5倍した値)	MPa
f <sub>s</sub>	許容せん断応力 (f <sub>s</sub> <sup>*</sup> を1.5倍した値)	MPa
f <sub>t</sub>	許容組合せ応力 (f <sub>t</sub> <sup>*</sup> を1.5倍した値)	MPa
f <sub>t o</sub>	許容引張応力 (f <sub>t</sub> <sup>*</sup> を1.5倍した値)	MPa
f <sub>t s</sub>	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>s b</sub>	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f <sub>c</sub> <sup>*</sup>	一次応力における許容圧縮応力	MPa
f <sub>b</sub> <sup>*</sup>	一次応力における許容曲げ応力	MPa
f <sub>s</sub> <sup>*</sup>	一次応力における許容せん断応力	MPa
f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	一次応力における許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
h	はりのせい	mm
i	断面二次半径	mm
I <sub>x</sub>	X軸まわりの断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>y</sub>	Y軸まわりの断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
J	ねじり剛性	mm <sup>4</sup>
ℓ <sub>b</sub>	圧縮フランジの支点間距離	mm
ℓ <sub>k</sub>	座屈長さ	mm
M <sub>b x</sub>	X軸まわり曲げモーメント	N・mm
M <sub>b y</sub>	Y軸まわり曲げモーメント	N・mm
M <sub>t</sub>	軸方向ねじりモーメント	N・mm
N	軸力	N
Q <sub>x</sub>	X軸方向のせん断力	N
Q <sub>y</sub>	Y軸方向のせん断力	N



記号	記号の説明	単位
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S <sub>u</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S <sub>y</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S <sub>y</sub> (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
W	M10 灯具取付ボルト 1 本当たりの荷重	N
Z <sub>p</sub>	ねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
Z <sub>x</sub>	X軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>
Z <sub>y</sub>	Y軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>
Λ	限界細長比	—
λ	圧縮材の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
σ <sub>c</sub>	発生圧縮応力	MPa
σ <sub>b x</sub>	x軸まわりの発生曲げ応力	MPa
σ <sub>b y</sub>	y軸まわりの発生曲げ応力	MPa
σ <sub>t b</sub>	一次応力評価における取付ボルトの引張応力	MPa
ρ <sub>c</sub>	一次応力評価における圧縮応力	MPa
ρ <sub>b</sub>	一次応力評価における曲げ応力	MPa
ρ <sub>m</sub>	一次応力評価における組合せ応力	MPa
ρ <sub>s</sub>	一次応力評価におけるせん断応力	MPa
τ <sub>b</sub>	一次応力評価における取付ボルトのせん断応力	MPa
τ <sub>p</sub>	発生せん断応力 (ねじり)	MPa
τ <sub>x</sub>	x軸まわりの発生せん断応力	MPa
τ <sub>y</sub>	y軸まわりの発生せん断応力	MPa

## 2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字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
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	小数点以下第2位	切捨て	小数点以下第1位 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記\*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

\*2：設計上定める値が整数位の場合は、整数位表示とする。

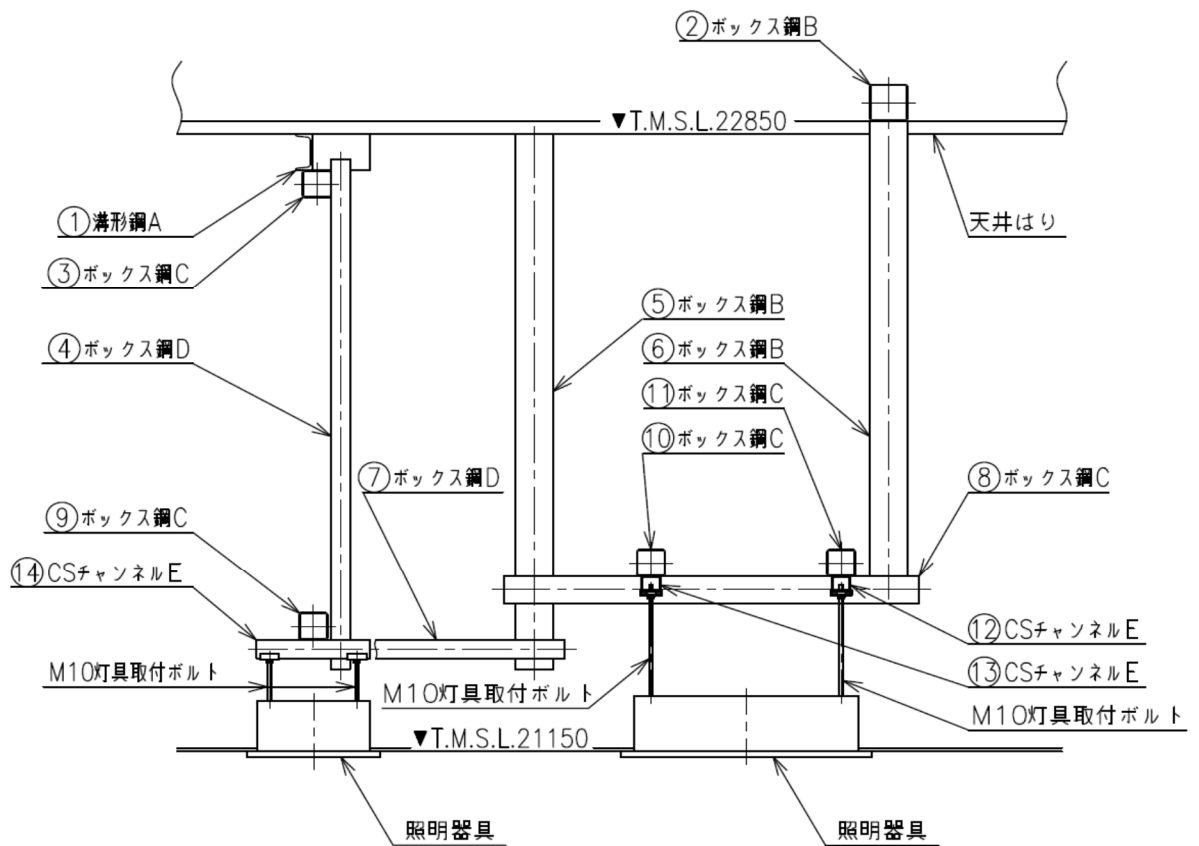
\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

中央制御室天井照明は、溝形鋼 A、ボックス鋼 B～D、CS チャンネル E、M10 灯具取付ボルトを介して建屋躯体部から吊り下げる構造となっている。よって、中央制御室天井照明が落下することにより、波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から、耐震評価上厳しくなる溝形鋼 A、ボックス鋼 B～D、CS チャンネル E、M10 灯具取付ボルトについて実施する。

耐震評価部位について、応力解析での耐震評価部位は、図 3-1 に示す①溝形鋼 A、②、⑤、⑥ボックス鋼 B、③、⑧～⑪ボックス鋼 C、④、⑦ボックス鋼 D、⑫～⑭CS チャンネル E とする。

CS チャンネル E より下部の耐震評価応力計算での評価対象部位は、図 3-1 に示す M10 灯具取付ボルトとする。



(単位：mm)

図 3-1 中央制御室天井照明器具の耐震評価部位

#### 4. 地震応答解析及び構造強度評価

##### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 中央制御室天井照明は、コントロール建屋躯体天井はりに溝形鋼，ボックス鋼，CSチャンネル，M10 灯具取付ボルトを介して設置されている。
- (2) 中央制御室天井照明の質量には，耐震評価部位である M10 灯具取付ボルトに加えて照明器具及び電路類等の質量を考慮する。
- (3) 地震力は，固有値解析結果を踏まえて設定するものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- (5) スペクトルモーダル法による応答解析を行い，算出された応力を用いて評価を行う。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

###### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室天井照明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。

###### 4.2.2 許容応力

中央制御室天井照明の許容応力は，V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示す。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室天井照明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 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	その他	中央制御室 天井照明	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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
その他	その他	中央制御室 天井照明	—	—*1	$D + P_D + M_D + S_s$ *2	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界を 用いる。)

注記\*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*2：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)			許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力			一次応力	
	せん断	圧縮	曲げ	引張り	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用い る。)					

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 4-4 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> (R T) (MPa)
		周囲環境温度	26				
溝形鋼 A	SS400	周囲環境温度	26	—	245	400	—
ボックス鋼 B	STKR400	周囲環境温度	26	—	245	400	—
ボックス鋼 C	STKR400	周囲環境温度	26	—	245	400	—
ボックス鋼 D	STKR400	周囲環境温度	26	—	245	400	—
CS チャンネル E	SS400	周囲環境温度	26	—	245	400	—
M10 灯具取付ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	26	—	245	400	—

表 4-5 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)
		周囲環境温度	50				
溝形鋼 A	SS400	周囲環境温度	50	—	241	394	—
ボックス鋼 B	STKR400	周囲環境温度	50	—	234	394	—
ボックス鋼 C	STKR400	周囲環境温度	50	—	234	394	—
ボックス鋼 D	STKR400	周囲環境温度	50	—	234	394	—
CS チャンネル E	SS400	周囲環境温度	50	—	241	394	—
M10 灯具取付ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—



### 4.3 解析モデル及び諸元

中央制御室天井照明の解析モデルを図4-1、図4-2に示す。

- (1) 評価対象部位をはり要素でモデル化した三次元 FEM モデルによって求める。
- (2) 解析モデルの諸元のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-6に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-7に示す。また、断面性能を表4-8に示す。
- (3) 解析モデルは、各部材を表4-9に示す要素を用いてモデル化する。なお、モデル化は基本部材の軸心で行うものとする。
- (4) 各部材の拘束条件及び接合条件を以下に示す。各部材は接合部において変位と回転が拘束される完全拘束とする。

なお、M10 灯具取付ボルトは剛体として評価する。

- ・ コントロール建屋躯体天井はり①溝形鋼 A : 完全拘束
- ・ コントロール建屋躯体天井はり②ボックス鋼 B : 完全拘束
- ・ コントロール建屋躯体天井はり⑤ボックス鋼 B : 完全拘束
- ・ ①溝形鋼 A と③ボックス鋼 C : 完全拘束
- ・ ③ボックス鋼 C と④ボックス鋼 D : 完全拘束
- ・ ②ボックス鋼 B と⑥ボックス鋼 B : 完全拘束
- ・ ④ボックス鋼 D と⑦ボックス鋼 D : 完全拘束
- ・ ⑤ボックス鋼 B と⑦ボックス鋼 D : 完全拘束
- ・ ⑤ボックス鋼 B と⑧ボックス鋼 C : 完全拘束
- ・ ⑥ボックス鋼 B と⑧ボックス鋼 C : 完全拘束
- ・ ⑦ボックス鋼 D と⑨ボックス鋼 C : 完全拘束
- ・ ⑧ボックス鋼 C と⑩ボックス鋼 C : 完全拘束
- ・ ⑧ボックス鋼 C と⑪ボックス鋼 C : 完全拘束
- ・ ⑪ボックス鋼 C と⑫CS チャンネル E : 完全拘束
- ・ ⑩ボックス鋼 C と⑬CS チャンネル E : 完全拘束
- ・ ⑨ボックス鋼 C と⑭CS チャンネル E : 完全拘束

- (5) 計算機コードは「NSAFE ver. 5」を使用し、固有値と各要素に発生する応力を求める。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機コード（解析コード）の概要」に示す。

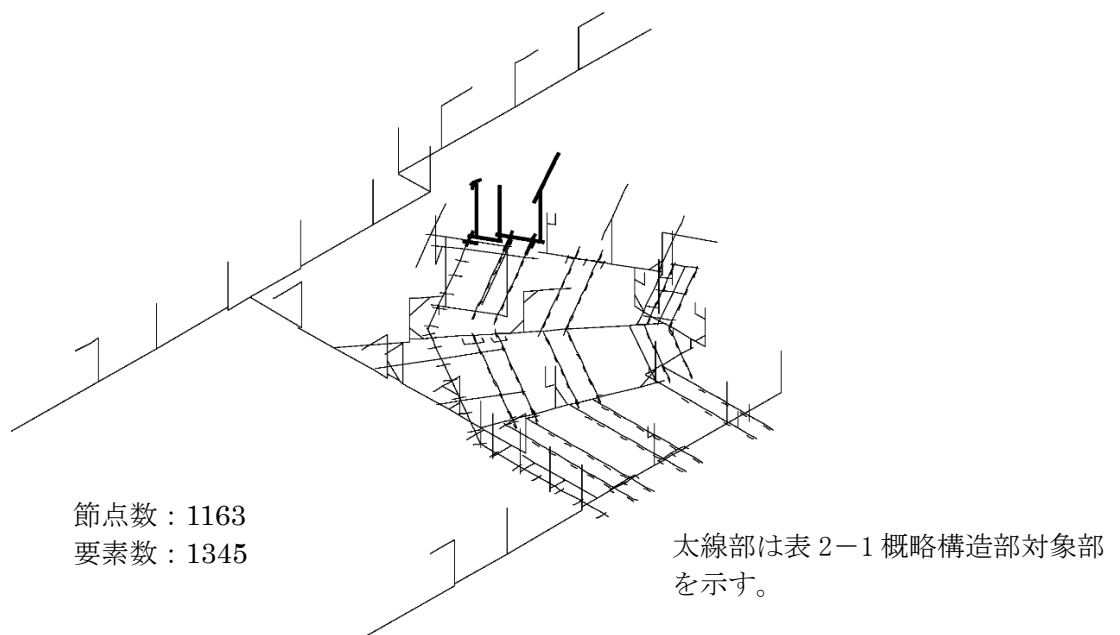


図4-1 中央制御室天井照明の解析モデル(1)

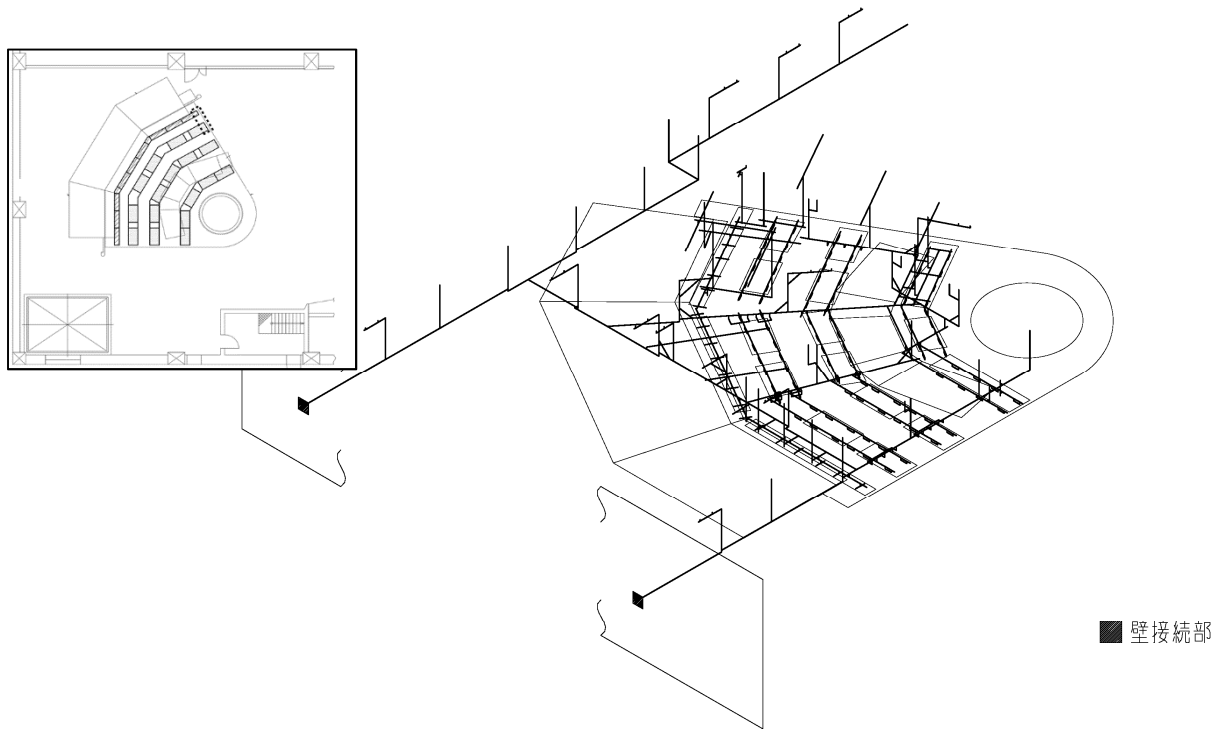


図 4-2 中央制御室天井照明の解析モデル(2)

表 4-6 解析モデル諸元 (設計基準対象施設)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	STKR400 SS400
質量	m	kg	3112
温度条件 (周囲環境温度)	T	°C	26
縦弾性係数	E	MPa	202600
ポアソン比	$\nu$	—	0.3

表 4-7 解析モデル諸元 (重大事故等対処設備)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	STKR400 SS400
質量	m	kg	3112
温度条件 (周囲環境温度)	T	°C	50
縦弾性係数	E	MPa	201000
ポアソン比	$\nu$	—	0.3

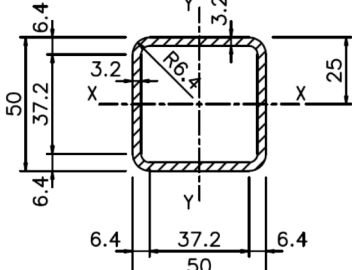
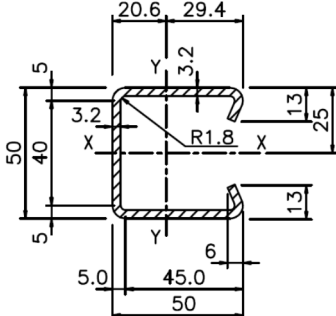
表 4-8 断面性能

計算手法	部位	使用鋼材	断面性能								
			断面積 A (mm <sup>2</sup> )	せん断 断面積		断面二次 モーメント		ねじり 剛性 J (mm <sup>4</sup> )	断面係数		
				A <sub>y</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>x</sub> (mm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>x</sub> (mm <sup>4</sup> )		Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>x</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>p</sub> (mm <sup>3</sup> )
応力 解析	溝形鋼 A	100×50×5×7.5	1192	405.3	669.4	260000	1880000	17200	7520	37600	2290
	ボックス鋼 B	100×100×3.2	1213	558	558	1870000	1870000	2900000	37500	37500	59900
	ボックス鋼 C	75×75×3.2	892.7	398	398	755000	755000	1180000	20100	20100	32900
	ボックス鋼 D	50×50×3.2	572.7	238	238	204000	204000	328000	8160	8160	14000
	CS チャンネル N	50×50×3.2	489.8	128	256	148000	201000	1690	5040	8070	528
応力 計算	M10 灯具取付ボルト	タイプ 4C	78.5	—	—	—	—	—	—	—	—
		タイプ 6C	78.5	—	—	—	—	—	—	—	—

表 4-9 使用要素

部位	使用要素	使用材料	使用断面	備考
溝形鋼 A	はり要素	SS400		
ボックス鋼 B	はり要素 柱要素	STKR400		
ボックス鋼 C	はり要素 柱要素	STKR400		

K7 ① V-2-11-2-3 R0

部位	使用要素	使用材料	使用断面	備考
ボックス鋼D	はり要素 柱要素	STKR400		
CS チャンネル E	はり要素	SS400		
M10 灯具取付 ボルト	—	SS400	—	質量のみ考慮
照明器具	—	—	—	質量のみ考慮

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果として、設計基準対象施設の結果を表4-10に、重大事故等対処設備の結果を表4-11に、振動モードを図4-3から図4-7に示す。水平方向は、5次モードで卓越し、固有周期が柔な領域にあることから、柔であることを確認した。

また、鉛直方向は、15次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

表4-10 固有値解析結果（設計基準対象施設）

モード	卓越するモード*1	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	—	0.102	0.156	0.000	0.000
2次	—	0.078	0.428	0.245	0.056
3次	—	0.072	0.004	0.024	0.103
4次	—	0.066	0.306	0.480	0.018
5次	水平	0.054	0.937	0.799	0.026
6次	—	0.054	0.263	0.020	0.003
7次	—	0.047	0.225	0.190	0.095
8次	—	0.046	0.070	0.000	0.058
9次	—	0.045	0.794	0.622	0.054
10次	—	0.043	0.160	0.390	0.033
11次	—	0.043	0.447	0.444	0.052
12次	—	0.043	0.209	0.034	0.012
13次	—	0.041	0.167	0.124	0.343
14次	—	0.041	0.079	0.114	0.299
15次	鉛直	0.039	0.075	0.236	0.460

注記\*1：刺激係数が最大となるものを、卓越する振動モードとして選定する。

注記\*2：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

表 4-11 固有値解析結果（重大事故等対処設備）

モード	卓越するモード*1	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	—	0.102	0.156	0.000	0.000
2次	—	0.078	0.428	0.245	0.056
3次	—	0.072	0.004	0.024	0.103
4次	—	0.067	0.306	0.480	0.018
5次	水平	0.055	0.937	0.799	0.026
6次	—	0.054	0.263	0.020	0.003
7次	—	0.047	0.225	0.190	0.095
8次	—	0.046	0.070	0.000	0.058
9次	—	0.045	0.794	0.622	0.054
10次	—	0.044	0.160	0.390	0.033
11次	—	0.043	0.447	0.444	0.052
12次	—	0.043	0.209	0.034	0.012
13次	—	0.041	0.167	0.124	0.342
14次	—	0.041	0.079	0.114	0.299
15次	鉛直	0.039	0.075	0.236	0.460

注記\*1：刺激係数が最大となるものを，卓越する振動モードとして選定する。

注記\*2：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

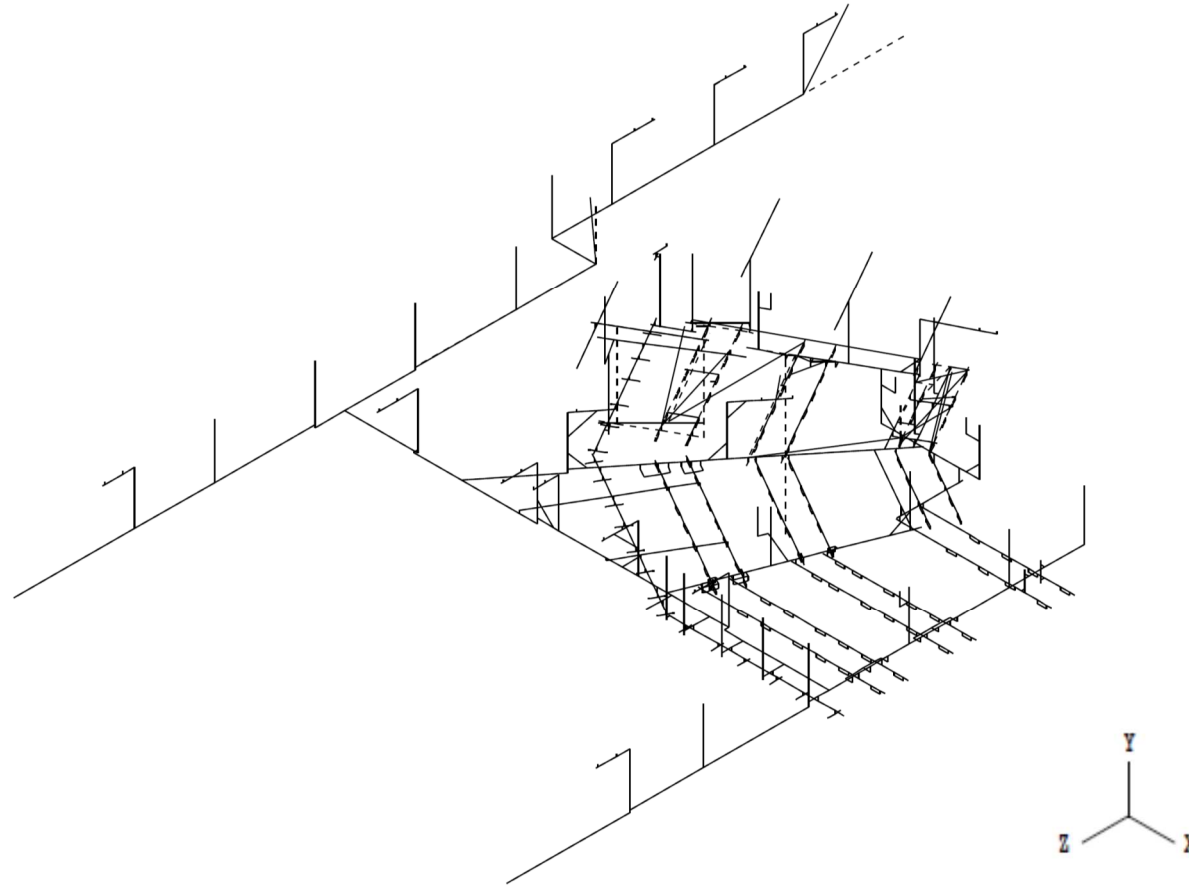


図4-3 振動モード図 (1次モード 水平方向 0.102s)



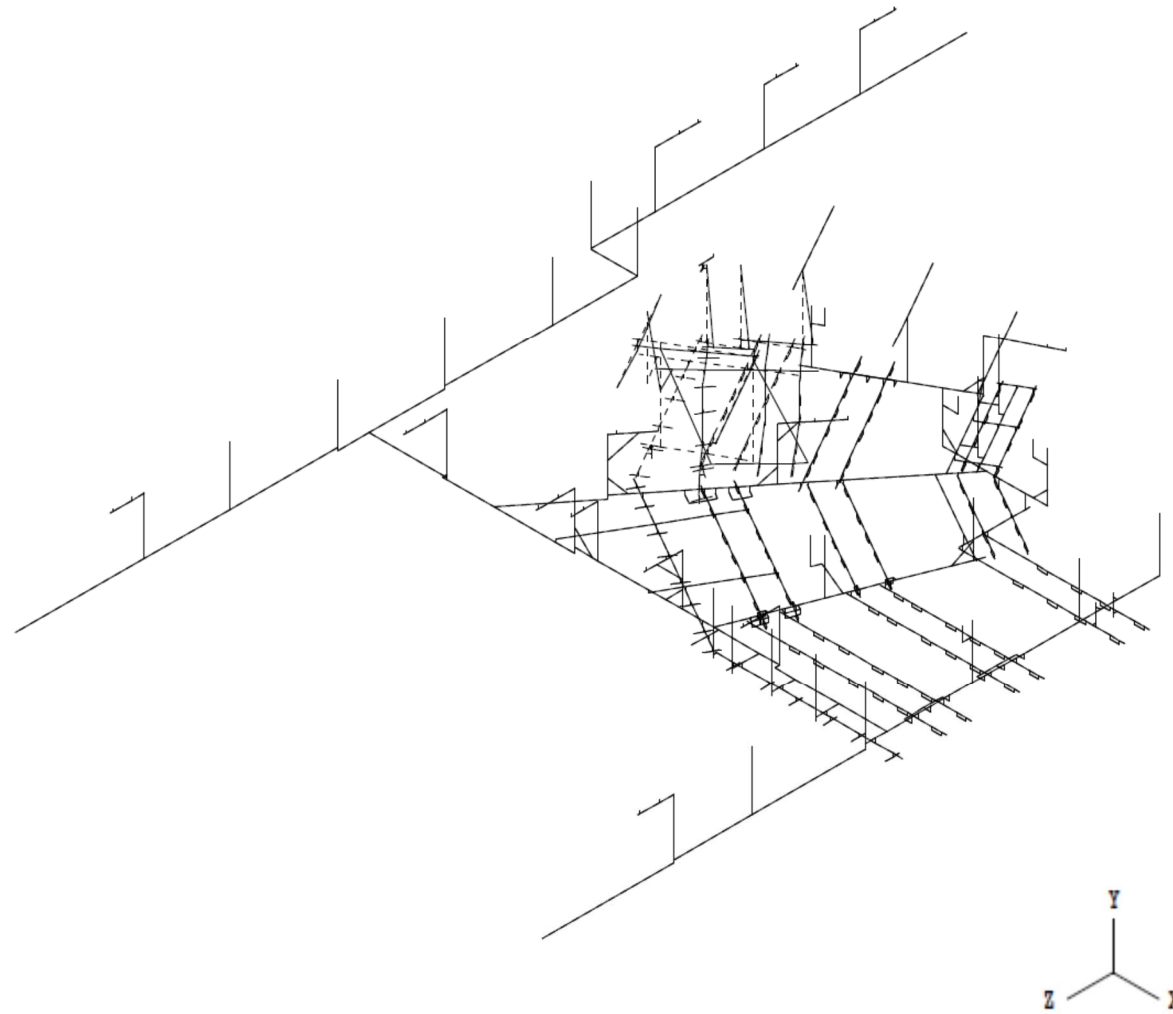


図 4-4 振動モード図 (2次モード 水平方向 0.078s)

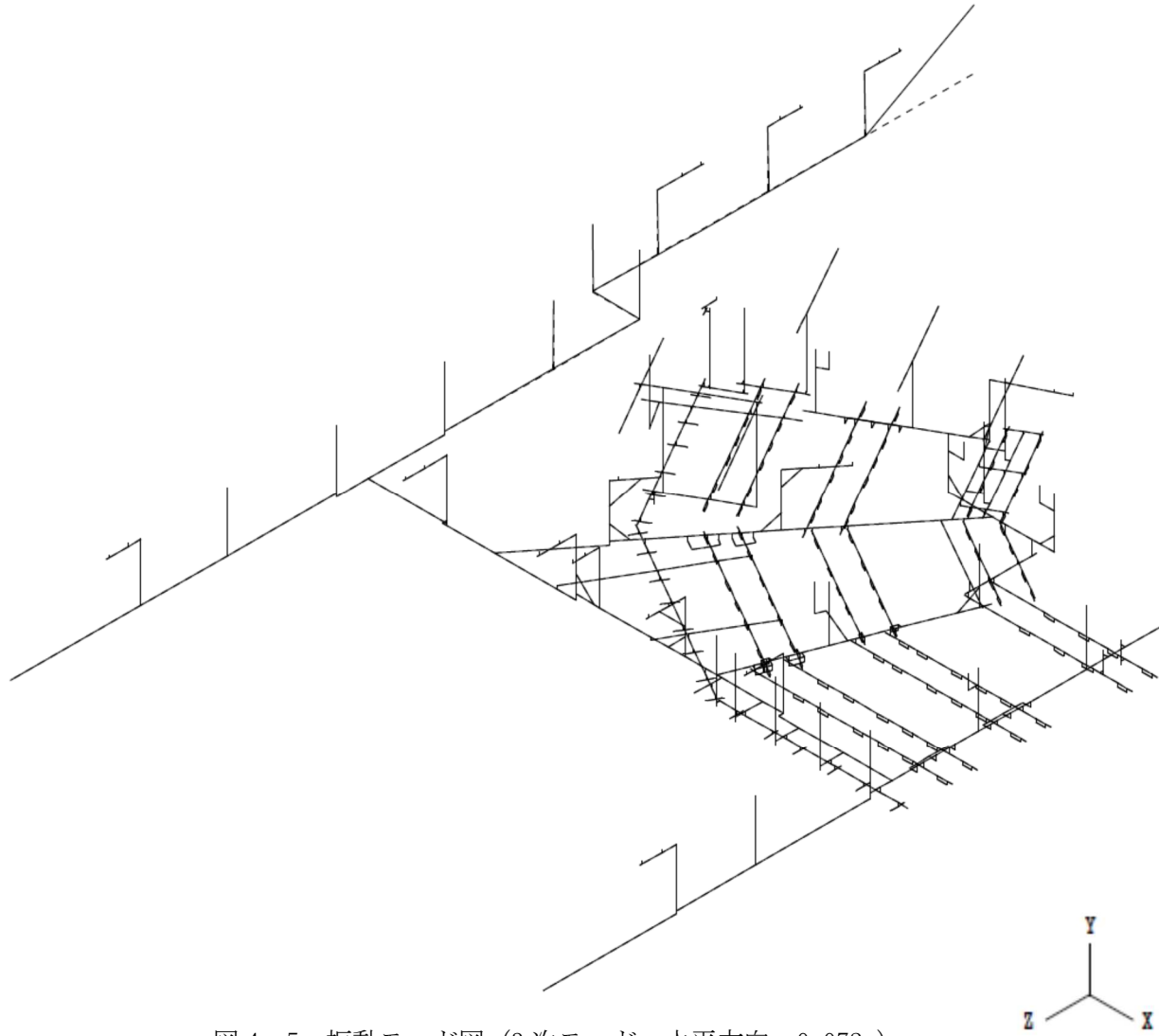


図 4-5 振動モード図 (3 次モード 水平方向 0.072s)

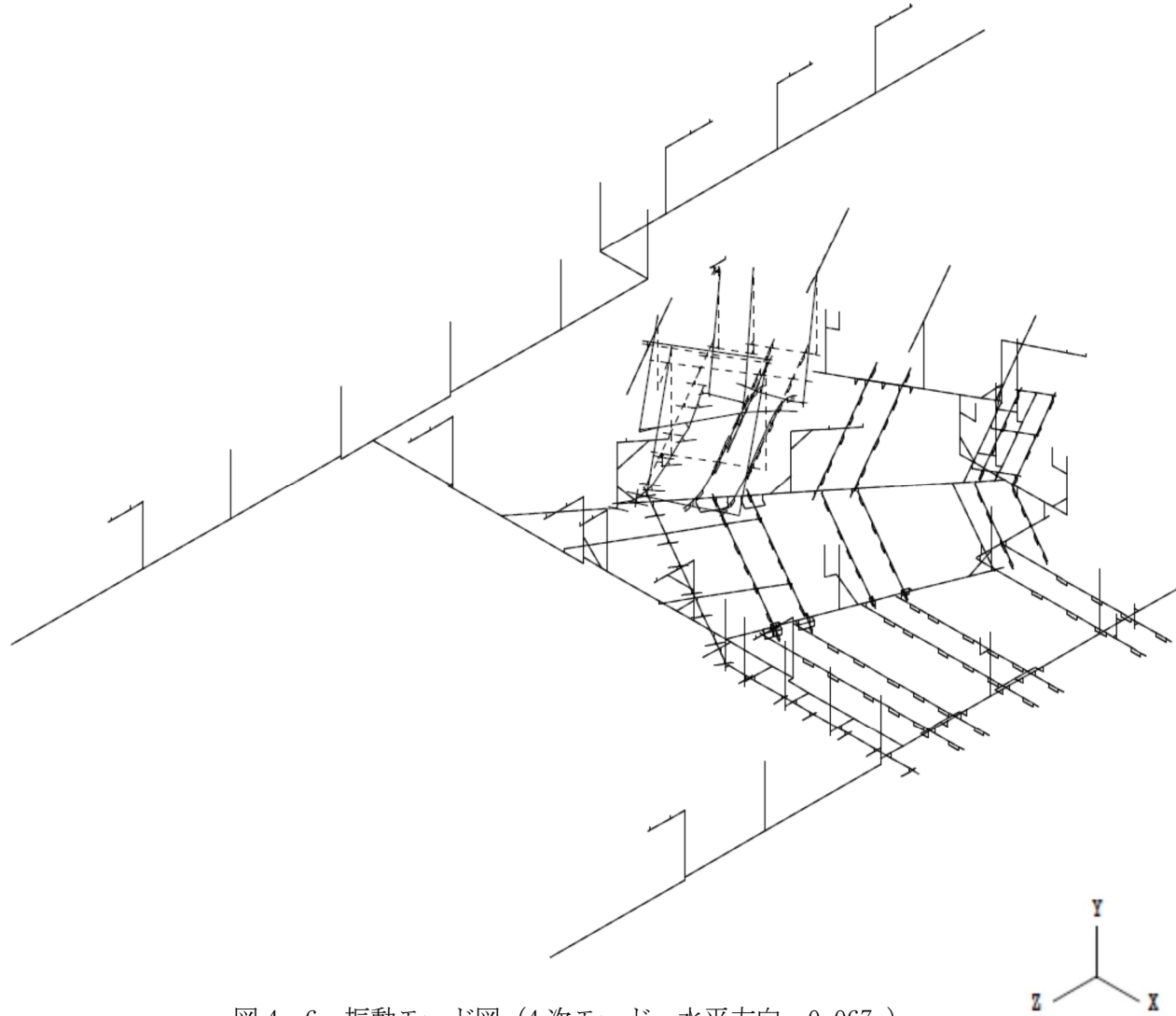


図 4-6 振動モード図 (4次モード 水平方向 0.067s)

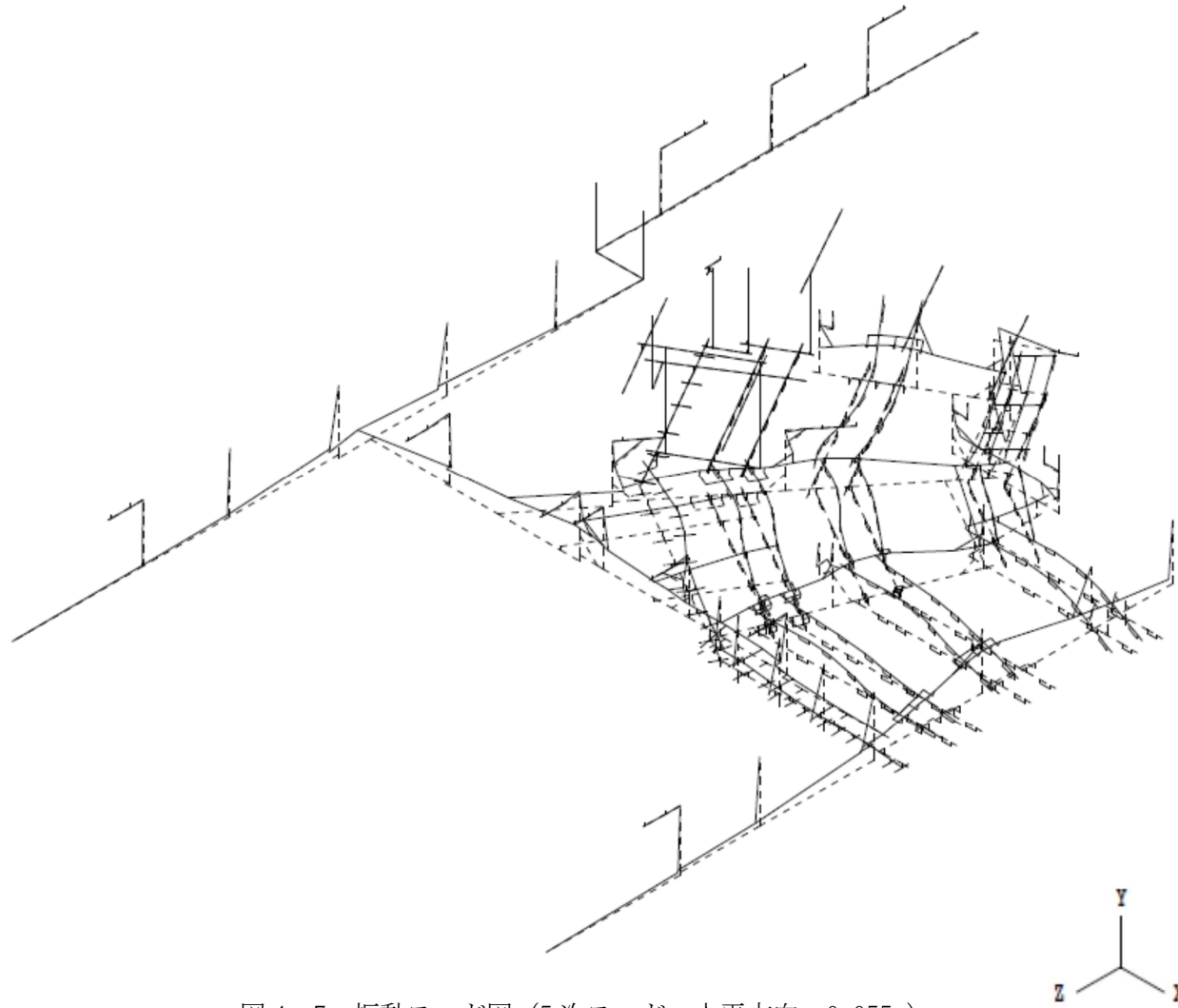


図 4-7 振動モード図 (5 次モード 水平方向 0.055s)

#### 4.5 設計用地震力

天井はりから溝形鋼 A, ボックス鋼 B~D, CS チャンネル E までの評価に用いる設計用地震力を表 4-12 及び表 4-13 に, 解析より求めた CS チャンネル E より下部の評価に用いる設計用地震力を表 4-14 及び表 4-15 に示す。

「基準地震動 S<sub>s</sub>」による地震力は, V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また, 減衰定数は, V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

なお, 解析モデルに対する建屋からの地震力が入力される箇所は壁, 天井との接続部であり, 図 4-8 のようになる。

表 4-12 天井はりから CS チャンネルまでの評価に用いる設計用地震力(設計基準対象施設)

据付場所及び 床面高さ (m)		コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1 (T.M.S.L. 17.3 <sup>*1</sup> )					
固有周期 (s)		水平 : 0.054 <sup>*2</sup> 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 鉛直 : —					
地震力		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>		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直 震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.102	—	—	—	4.18	4.18	—
2 次	0.078	—	—	—	3.39	3.39	—
3 次	0.072	—	—	—	3.39	3.39	—
4 次	0.066	—	—	—	3.31	3.31	—
5 次	0.054	—	—	—	2.74	2.74	—
6 次	0.054	—	—	—	2.74	2.74	—
7 次	0.047	—	—	—	2.73	2.73	—
動的地震力 <sup>*4</sup>		—	—	—	1.88	1.71	1.15
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記\*1 : 基準床レベルを示す。

\*2 : 5 次固有周期について記載

\*3 : 各モードの固有周期に対し, 設計用床応答曲線 (S<sub>s</sub>) より得られる震度を示す。

\*4 : S<sub>s</sub> 又は S<sub>d</sub> に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4-13 天井はりから CS チャンネルまでの評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)		コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1 (T.M.S.L. 17.3* <sup>1</sup> )					
固有周期 (s)		水平：0.055* <sup>2</sup> 鉛直：0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		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>		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* <sup>3</sup>		応答鉛直震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.102	—	—	—	4.18	4.18	—
2 次	0.078	—	—	—	3.39	3.39	—
3 次	0.072	—	—	—	3.39	3.39	—
4 次	0.067	—	—	—	3.34	3.34	—
5 次	0.055	—	—	—	2.74	2.74	—
6 次	0.054	—	—	—	2.74	2.74	—
7 次	0.047	—	—	—	2.73	2.73	—
動的地震力* <sup>4</sup>		—	—	—	1.88	1.71	1.15
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：5 次固有周期について記載

\*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S<sub>s</sub>）より得られる震度を示す。

\*4：S<sub>s</sub> 又は S<sub>d</sub> に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4-14 CS チャンネルより下部の評価に用いる設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び 床面高さ(m)	コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1 (T.M.S.L. 17.3* <sup>1</sup> )		
地震力	基準地震動 S <sub>s</sub>		
	応答水平震度* <sup>2</sup>		応答鉛直震度
	NS 方向	EW 方向	
	11.01	8.11	1.15

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：灯具取付点の水平震度を示す。

表 4-15 CS チャンネルより下部の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 床面高さ(m)	コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1 (T.M.S.L. 17.3 <sup>*1</sup> )		
地震力	基準地震動 S <sub>s</sub>		
	応答水平震度 <sup>*2</sup>		応答鉛直震度
	NS 方向	EW 方向	
	11.02	8.15	1.15

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：灯具取付点の水平震度を示す。



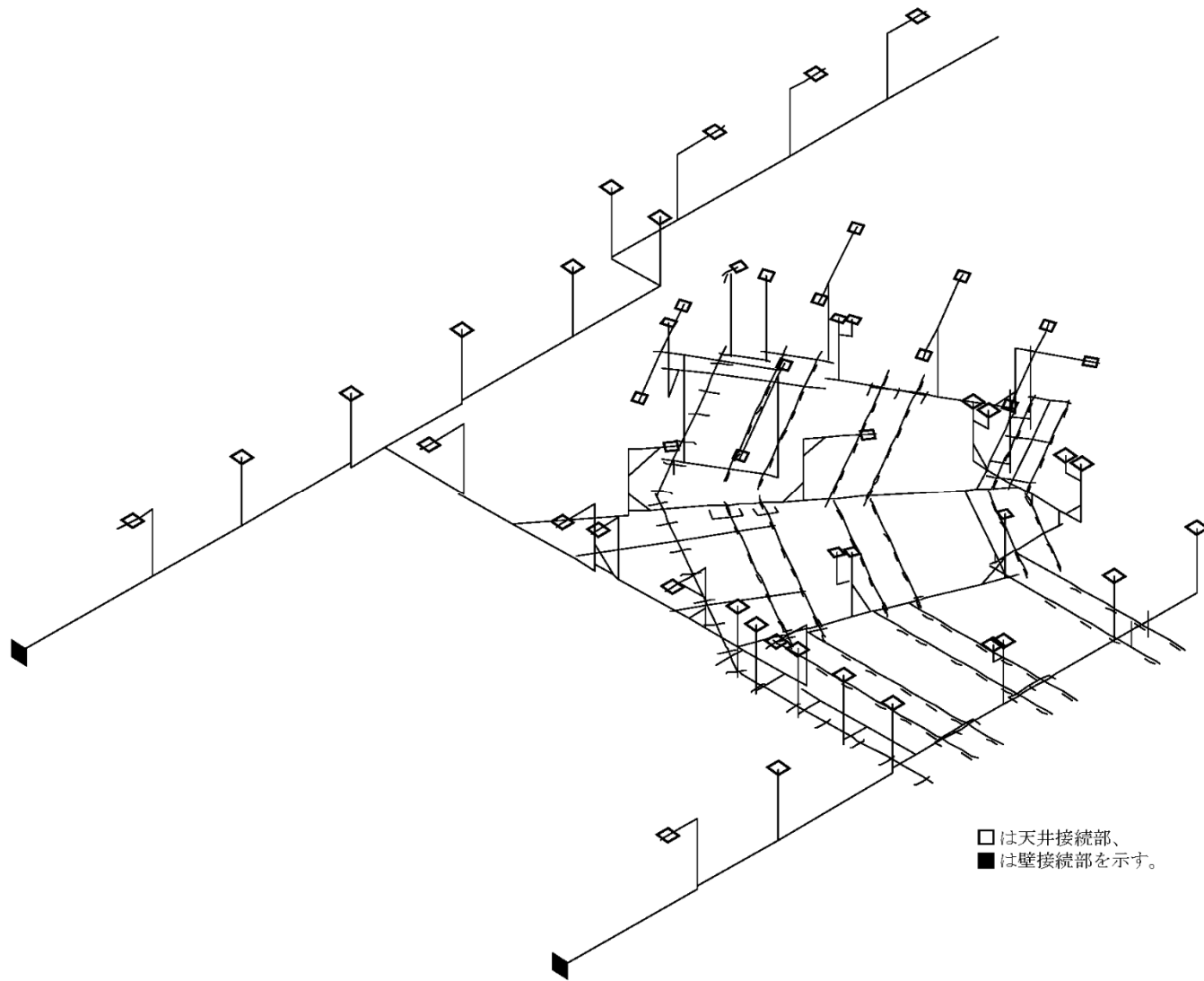


図 4-8 解析モデルに対する建屋からの地震力の伝搬イメージ

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### 4.6.1.1 天井はりから溝形鋼 A, ボックス鋼 B~D, CS チャンネル E までの応力

解析による計算で得られる各要素端での圧縮応力, せん断応力, 曲げ応力より各応力を次のように求める。

なお X 方向, Y 方向はそれぞれ表 4-9 の使用断面に示す方向とする。

##### (1) 圧縮応力

$$\rho_c = |\sigma_c| \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

(a)  $\sigma_c = -N/A$

##### (2) せん断応力

$$\rho_s = \text{MAX}(\tau_x + \tau_p, \tau_y + \tau_p) \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

(a) X 方向  $\tau_x = Q_x/A_x$

(b) Y 方向  $\tau_y = Q_y/A_y$

(c) ねじり  $\tau_p = M_t/Z_p$

##### (3) 曲げ応力

$$\rho_b = \sigma_{bx} + \sigma_{by} \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

(a)  $\sigma_{bx} = M_{bx}/Z_x$

(b)  $\sigma_{by} = M_{by}/Z_y$

##### (4) 組合せ応力

$$\rho_m = \sqrt{\{(\rho_c + \rho_b)^2 + 3\rho_s^2\}} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

#### 4.6.1.2 M10 灯具取付ボルトの応力

M10 灯具取付ボルトに生じる応力は、地震による引張応力とせん断応力について計算する。

(1) 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{(1 + C_{v2}) \cdot W}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_{H2} \cdot W}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重は、以下の表 4-16 に示す。また、M10 灯具取付ボルトの応力計算に使用する条件を表 4-17 に示す。

表 4-16 各部品の質量一覧

部材	使用鋼材	単位長さ質量 及び 単位質量		物量		質量 (kg)
溝形鋼 A	100×50×5×7.5	9.36	kg/m	1	m	3
ボックス鋼 B~K	100×100×3.2	9.52	kg/m	136	m	1295
ボックス鋼 C	75×75×3.2	7.01	kg/m	90	m	628
ボックス鋼 D	50×50×3.2	4.50	kg/m	17	m	77
CS チャンネル E	50×50×3.2	3.8	kg/m	26	m	96
照明器具	タイプ 4C	15	kg/灯	9	灯	135
	タイプ 6C	25	kg/灯	17	灯	425
電線管類	電線管, 電線管付属品, 電線	226	kg	1	式	226
その他サポート材	付属品	227	kg	1	式	227
合計						3112

表 4-17 M10 灯具取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値
M10 灯具取付ボルト 1 本当たりの荷重	W	N/本	49 (タイプ 4C)
			74 (タイプ 6C)
M10 灯具取付ボルトの断面積	A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	78.5
設計水平震度 (設計基準対象施設)	C <sub>H2</sub>	—	11.01
設計水平震度 (重大事故等対処設備)	C <sub>H2</sub>	—	11.02
設計鉛直震度 (設計基準対象施設)	C <sub>V2</sub>	—	1.15
設計鉛直震度 (重大事故等対処設備)	C <sub>V2</sub>	—	1.15

4.8 応力の評価

4.8.1 天井はりから溝形鋼A, ボックス鋼B~D, CSチャンネルEまでの応力評価

4.6.1.1項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容圧縮応力 $f_c$	(1) 有効細長比 $\leq$ 限界細長比 $\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$ (2) 有効細長比 $>$ 限界細長比 $0.277 \cdot F^* \cdot \left( \frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_s$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_b$	(1) みぞ形断面のもの $\frac{0.433 \cdot E \cdot A_f}{\ell_b \cdot h} \cdot 1.5$ (2) みぞ形断面以外のもの $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし,

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

基準地震動  $S_s$  による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.2)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

4.8.2 M10 灯具取付ボルトの応力評価

4.6.1.2 項で求めた取付ボルトの引張応力  $\sigma_{tb}$  は、次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし、 $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。ただし、 $f_{sb}$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室天井照明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。

また、許容応力に対する算出応力の割合が最も大きい箇所（裕度最小箇所）を図 5-1 に示す。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室天井照明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。

また、許容応力に対する算出応力の割合が最も大きい箇所（裕度最小箇所）を図 5-2 に示す。

## 【中央制御室天井照明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>		周囲環境温度 (°C)
			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*3	鉛直方向 設計震度*3	
中央制御室天井照明	C	コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1 (T.M.S.L. 17.3*1)	0.102	0.05 以下	—	—	C <sub>H1</sub> = 1.88 又は*2	C <sub>V1</sub> = 1.15	26
							C <sub>H2</sub> = 11.01	C <sub>V2</sub> = 1.15	

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：基準地震動 S<sub>s</sub> に基づく設計用床応答曲線から得られる値

\*3：水平方向設計震度および鉛直方向設計震度における上段は天井はりから CS チャンネルまでの評価に用いる震度を示し、下段は CS チャンネルより下部の評価に用いる震度を示す。



1.2 結論

1.2.1 応力

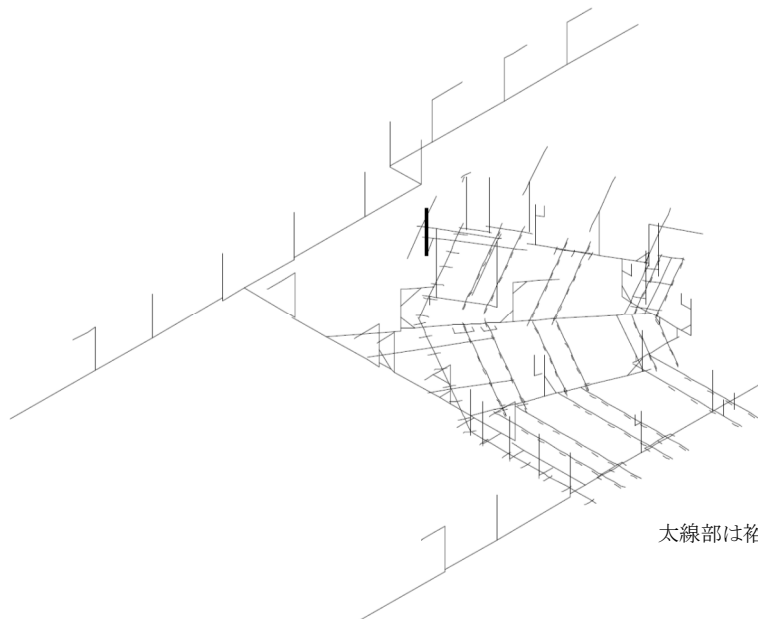
(単位：MPa)

部材	材料	使用鋼材	応力分類	基準地震動 S <sub>s</sub>	
				算出応力	許容応力
溝形鋼 A	SS400	100×50×5×7.5	圧縮	$\rho_c = 1^{*1}$	$f_c = 246$
			せん断	$\rho_s = 11$	$f_s = 161$
			曲げ	$\rho_b = 20$	$f_b = 280$
			組合せ	$\rho_m = 28$	$f_t = 280$
ボックス鋼 B	STKR400	100×100×3.2	圧縮	$\rho_c = 2^{*1}$	$f_c = 270$
			せん断	$\rho_s = 9$	$f_s = 161$
			曲げ	$\rho_b = 121$	$f_b = 280$
			組合せ	$\rho_m = 124$	$f_t = 280$
ボックス鋼 C	STKR400	75×75×3.2	圧縮	$\rho_c = 2^{*1}$	$f_c = 268$
			せん断	$\rho_s = 36$	$f_s = 161$
			曲げ	$\rho_b = 46$	$f_b = 280$
			組合せ	$\rho_m = 78$	$f_t = 280$
ボックス鋼 D	STKR400	50×50×3.2	圧縮	$\rho_c = 2^{*1}$	$f_c = 267$
			せん断	$\rho_s = 40$	$f_s = 161$
			曲げ	$\rho_b = 40$	$f_b = 280$
			組合せ	$\rho_m = 80$	$f_t = 280$
CS チャンネル E	SS400	50×50×3.2	圧縮	$\rho_c = 7^{*1}$	$f_c = 278$
			せん断	$\rho_s = 6$	$f_s = 161$
			曲げ	$\rho_b = 23$	$f_b = 280$
			組合せ	$\rho_m = 32$	$f_t = 280$
M10 灯具取付 ボルト	SS400	タイプ 4C	引張り	$\sigma_{tb} = 2$	$f_{ts} = 210^{*2}$
			せん断	$\tau_b = 7$	$f_{sb} = 161$
		タイプ 6C	引張り	$\sigma_{tb} = 2$	$f_{ts} = 210^{*2}$
			せん断	$\tau_b = 11$	$f_{sb} = 161$

すべて許容応力以下である。

注記\*1：絶対値を記載

\*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$



太線部は裕度最小箇所を示す。

図 5-1 裕度最小箇所（設計基準対象施設）

## 2. 重大事故等対処設備

## 2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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>		周囲環境温度 (°C)
			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*3	鉛直方向 設計震度*3	
中央制御室天井照明	—	コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1 (T.M.S.L. 17.3*1)	0.102	0.05 以下	—	—	C <sub>H1</sub> = 1.88 又は*2	C <sub>V1</sub> = 1.15	50
							C <sub>H2</sub> = 11.01	C <sub>V2</sub> = 1.15	

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：基準地震動 S<sub>s</sub> に基づく設計用床応答曲線から得られる値

\*3：水平方向設計震度および鉛直方向設計震度における上段は天井はりから CS チャンネルまでの評価に用いる震度を示し、下段は CS チャンネルより下部の評価に用いる震度を示す。

2.2 結論

2.2.1 応力

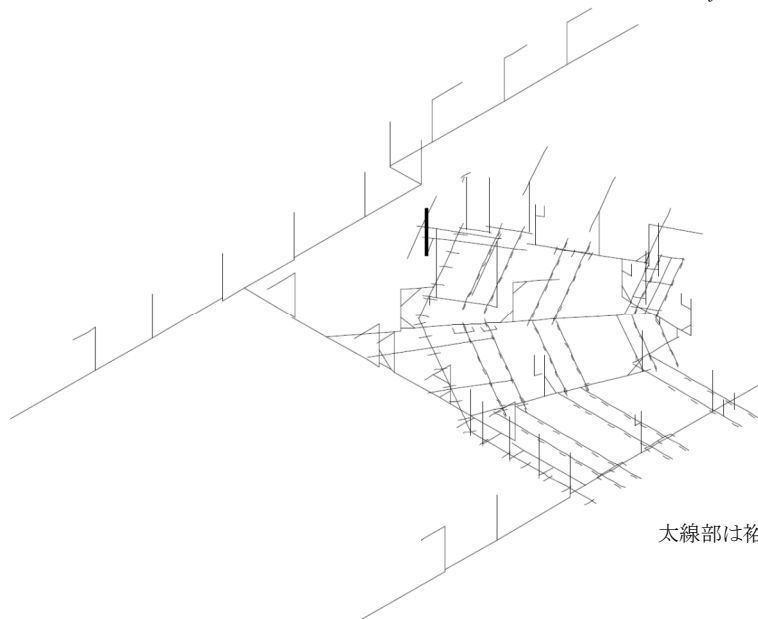
(単位：MPa)

部材	材料	使用鋼材	応力分類	基準地震動 S <sub>s</sub>	
				算出応力	許容応力
溝形鋼 A	SS400	100×50×5×7.5	圧縮	$\rho_c = 1^{*1}$	$f_c = 242$
			せん断	$\rho_s = 12$	$f_s = 159$
			曲げ	$\rho_b = 20$	$f_b = 276$
			組合せ	$\rho_m = 28$	$f_t = 276$
ボックス鋼 B	STKR400	100×100×3.2	圧縮	$\rho_c = 2^{*1}$	$f_c = 266$
			せん断	$\rho_s = 9$	$f_s = 159$
			曲げ	$\rho_b = 121$	$f_b = 276$
			組合せ	$\rho_m = 124$	$f_t = 276$
ボックス鋼 C	STKR400	75×75×3.2	圧縮	$\rho_c = 2^{*1}$	$f_c = 264$
			せん断	$\rho_s = 36$	$f_s = 159$
			曲げ	$\rho_b = 46$	$f_b = 276$
			組合せ	$\rho_m = 78$	$f_t = 276$
ボックス鋼 D	STKR400	50×50×3.2	圧縮	$\rho_c = 2^{*1}$	$f_c = 264$
			せん断	$\rho_s = 40$	$f_s = 159$
			曲げ	$\rho_b = 40$	$f_b = 276$
			組合せ	$\rho_m = 80$	$f_t = 276$
CS チャンネル E	SS400	50×50×3.2	圧縮	$\rho_c = 7^{*1}$	$f_c = 274$
			せん断	$\rho_s = 6$	$f_s = 159$
			曲げ	$\rho_b = 23$	$f_b = 276$
			組合せ	$\rho_m = 32$	$f_t = 276$
M10 灯具取付 ボルト	SS400	タイプ 4C	引張り	$\sigma_{tb} = 2$	$f_{ts} = 207^{*2}$
			せん断	$\tau_b = 7$	$f_{sb} = 159$
		タイプ 6C	引張り	$\sigma_{tb} = 2$	$f_{ts} = 207^{*2}$
			せん断	$\tau_b = 11$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記\*1：絶対値を記載

\*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$



太線部は裕度最小箇所を示す。

図 5-2 最小裕度箇所（重大事故等対処施設）

計算機プログラム（解析コード）の概要

目 次

1. はじめに .....	1
別紙1 N S A F E .....	2

1. はじめに

本資料は、添付資料V-2「耐震性に関する説明書」において使用した計算機プログラム（解析コード）について説明するものである。

「耐震性に関する説明書」において使用した解析コードの使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

別紙1 N S A F E

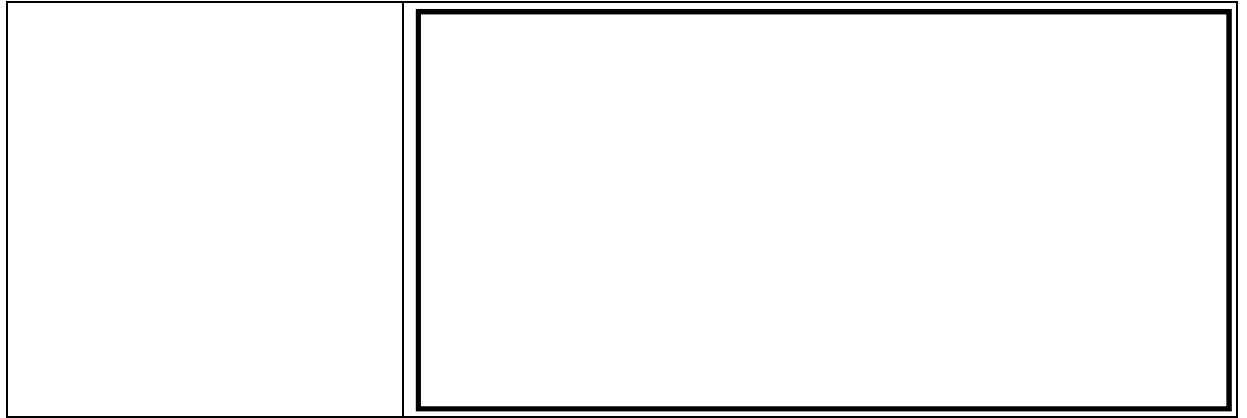
1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-11-2-3	中央制御室天井照明の耐震性についての計算書	Ver.5

2. 解析コードの概要

項目	コード名 NSAFE
使用目的	3次元有限要素法（はりモデル）による支持構造物の固有値解析，応力解析
開発機関	株式会社日立プラントコンストラクション
開発時期	1982年
使用したバージョン	Ver. 5
コードの概要	<p>本解析コードは，支持構造物の強度解析を目的として開発された計算機プログラムである。本解析コードは，汎用構造解析コード <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 80px; height: 15px;"></span> をメインプログラムとし，応力評価プログラム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログラムから成る。</p> <p>任意の1次元，2次元あるいは3次元形状に対し，静的解析，動的解析を行うことが可能で，反力・モーメント・応力，固有値・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
<p>検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）</p>	<p><b>【検証（Verification）】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <div style="border: 2px solid black; height: 200px; width: 100%;"></div> <p><b>【妥当性確認（Validation）】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <div style="border: 2px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>





注記\*1：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」

\*2：原子力発電所耐震設計技術指針