

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添2-014-25
提出年月日	2022年4月28日

VI-2-11-2-7-10 中央制御室天井照明の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-11-2-7-10 R0

2022年4月

中国電力株式会社

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	1
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	9
3. 評価部位	10
4. 地震応答解析及び構造強度評価	10
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	21
4.7 計算条件	26
4.8 応力の評価	26
5. 評価結果	30
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	30
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30

1. 概要

本計算書は、VI-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、中央制御室天井照明が基準地震動 S_s 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安全設備制御盤，原子炉制御盤に対して、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、上位クラス施設である安全設備制御盤，原子炉制御盤の上部に設置されており、中央制御室天井照明の落下時に上記上位クラス施設に波及的影響を及ぼすおそれがある。中央制御室天井照明と安全設備制御盤，原子炉制御盤の位置関係を図 2-1 に示す。

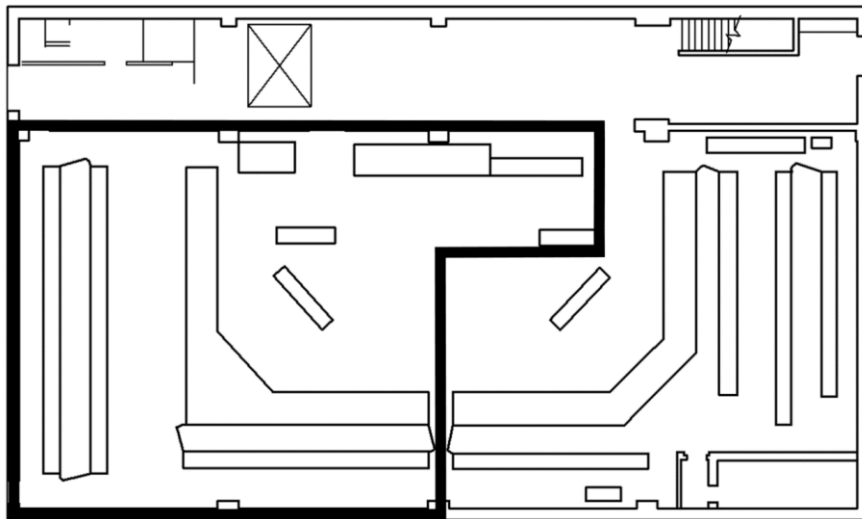


図 2-1 中央制御室天井照明と原子炉制御盤等の位置関係図（黒枠：評価対象範囲）

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 中央制御室天井照明の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>U吊型及び直吊型の支持鋼材に照明器具を取付ボルトで固定し、支持鋼材は基礎ボルトによりコンクリート天井に設置される。また、上側と下側の鋼材は、継手ボルトにより接続される。</p>	<p>U吊型又は直吊型による天井照明</p>	

2.3 評価方針

中央制御室天井照明の応力評価は、VI-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、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」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。

中央制御室天井照明の耐震評価フローを図2-2に示す。

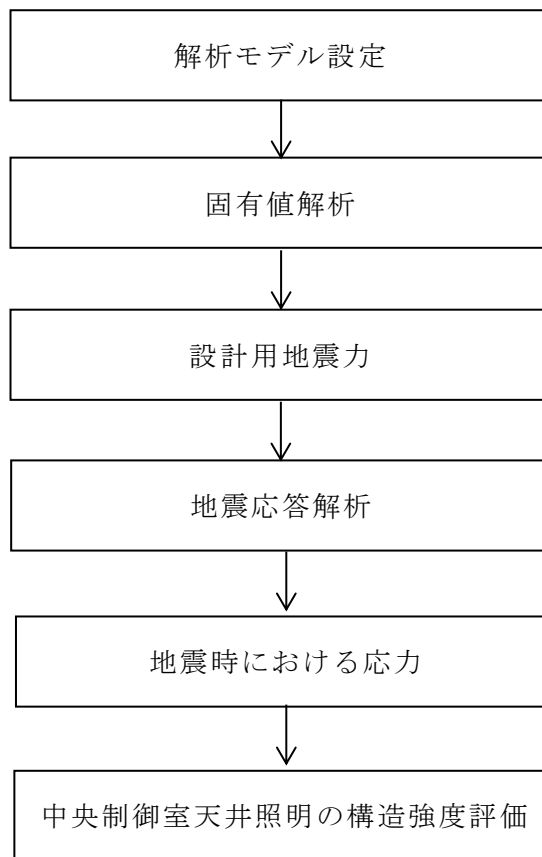


図2-2 中央制御室天井照明の耐震評価フロー

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。）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改訂）

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{Bi}	ボルトの呼び径断面積*	mm^2
A_C	コーン状破壊面の有効水平投影面積	mm^2
A_{qc}	せん断荷重方向の側面におけるコーン状破壊面の有効投影面積	mm^2
A_S	支持鋼材・補強斜材の断面積	mm^2
A_{sS}	支持鋼材・補強斜材のせん断断面積	mm^2
A_{syS}	支持鋼材・補強斜材の1軸方向のせん断断面積	mm^2
A_{szS}	支持鋼材・補強斜材の2軸方向のせん断断面積	mm^2
A_W	溶接断面の断面積	mm^2
c	へりあき寸法	mm
$C_H(EW)$	水平設計震度 (EW方向)	—
$C_H(NS)$	水平設計震度 (NS方向)	—
C_V	鉛直設計震度	—
$c\sigma_{qa}$	コンクリートの支圧強度	MPa
$c\sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度	MPa
D	アンカーボルト本体の直径	mm
d_{oi}	ボルトの呼び径*	mm
E	縦弾性係数	MPa
E_c	コンクリートの縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_c	コンクリートの設計基準強度	MPa
F_{xBi}	ボルトのx軸方向の拘束点反力又はばね反力*	N
F_{yBi}	ボルトのy軸方向の拘束点反力又はばね反力*	N
F_{zBi}	ボルトのz軸方向の拘束点反力又はばね反力*	N
F_{xS}	支持鋼材・補強斜材の軸力	N
F_{yS}	支持鋼材・補強斜材の1軸方向のせん断力	N
F_{zS}	支持鋼材・補強斜材の2軸方向のせん断力	N
f_{bm}	許容曲げ応力	MPa
f_{cm}	許容圧縮応力	MPa
f_{cb1}	圧縮と曲げを同時に受ける支持鋼材, 補強斜材の許容応力①	MPa
f_{cb2}	圧縮と曲げを同時に受ける支持鋼材, 補強斜材の許容応力②	MPa
f_{eq}	垂直応力とせん断応力の許容組合せ応力	MPa
f_{sm}	許容せん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{tm}	許容引張応力	MPa
f_{tb1}	引張と曲げを同時に受ける支持鋼材，補強斜材の許容応力①	MPa
f_{tb2}	引張と曲げを同時に受ける支持鋼材，補強斜材の許容応力②	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
I	断面二次モーメント	mm ⁴
i	断面二次半径	mm
J	ねじり剛性	mm ⁴
ℓ	アンカーボルトの埋込み深さで，母材表面から拡張面先端までの距離	mm
l_{Bi}	アンカーボルトの埋込み深さ*	mm
ℓ_{ce}	強度算定用埋込み深さ	mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
M_{xS}	支持鋼材・補強斜材のねじりモーメント	N・mm
M_{yS}	支持鋼材・補強斜材のy軸周りの曲げモーメント	N・mm
M_{zS}	支持鋼材・補強斜材のz軸周りの曲げモーメント	N・mm
p_{Bi}	基礎ボルトの引張荷重*	N
p_a	基礎ボルトの許容引張荷重	N
p_{a1}	基礎ボルトの降伏により決まる許容引張荷重	N
p_{a2}	コンクリートのコーン状破壊により決まる許容引張荷重	N
Q_{1Bi}	x軸方向反力によりボルトに生じるせん断荷重とトルクによりボルトに生じるせん断荷重の和*	N
Q_{2Bi}	y軸方向反力によりボルトに生じるせん断荷重とトルクによりボルトに生じるせん断荷重の和*	N
q_{Bi}	基礎ボルトのせん断荷重*	N
q_a	基礎ボルトの許容せん断荷重	N
q_{a1}	基礎ボルトのせん断強度により決まる許容せん断荷重	N
q_{a2}	コンクリートの支圧強度により決まる許容せん断荷重	N
q_{a3}	コンクリートのコーン状破壊により決まる許容せん断荷重	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
sca	ボルトの最小断面積又はこれに接合される鋼材の断面積で危険断面における値	mm^2
$S_y (RT)$	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
$s\sigma_{pa}$	基礎ボルトの引張強度	MPa
$s\sigma_{qa}$	基礎ボルトのせん断強度	MPa
$s\sigma_y$	基礎ボルトの降伏点強度	MPa
T_{1Bi}	軸方向反力によりボルトに生じる引張荷重*	N
T_{2Bi}	x軸周り曲げモーメントによりボルトに生じる引張荷重*	N
T_{3Bi}	y軸周り曲げモーメントによりボルトに生じる引張荷重*	N
Z_S	支持鋼材・補強斜材の断面係数	mm^3
Z_{pS}	支持鋼材・補強斜材の極断面係数	mm^3
Z_{yS}	支持鋼材・補強斜材のy軸周りの断面係数	mm^3
Z_{yW}	溶接断面のy軸周りの断面係数	mm^3
Z_{zS}	支持鋼材・補強斜材のz軸周りの断面係数	mm^3
Z_{zW}	溶接断面のz軸周りの断面係数	mm^3
Z_{pW}	溶接断面の極断面係数	mm^3
α_c	施工のばらつきを考慮した低減係数	—
Λ	限界細長比	—
γ	単位体積重量	kN/m^3
λ	有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_{bS}	支持鋼材・補強斜材に生じる曲げ応力	MPa
σ_{cb1S}	支持鋼材・補強斜材の圧縮力と曲げモーメントを受ける部材応力①	MPa
σ_{cb2S}	支持鋼材・補強斜材の圧縮力と曲げモーメントを受ける部材応力②	MPa
σ_{cS}	支持鋼材・補強斜材に生じる圧縮応力	MPa
σ_{eqS}	支持鋼材・補強斜材に生じる垂直応力とせん断応力の組合せ応力	MPa
σ_{tBi}	ボルトに生じる引張応力*	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{tb1S}	支持鋼材・補強斜材の引張力と曲げモーメントを受ける部材応力①	MPa
σ_{tb2S}	支持鋼材・補強斜材の引張力と曲げモーメントを受ける部材応力②	MPa
σ_{tsBi}	ボルトの引張とせん断応力の組合せ*	MPa
σ_{tS}	支持鋼材・補強斜材に生じる引張応力	MPa
σ_{tR}	補強材の引張応力	MPa
σ_{vS}	σ_{ts} もしくは σ_{cs} の値	MPa
τ_{Bi}	ボルトに生じるせん断応力*	MPa
τ_{MtW}	ねじりモーメントにより発生する溶接箇所のせん断応力	MPa
τ_{MW}	曲げモーメントにより発生する溶接箇所のせん断応力	MPa
τ_{NW}	軸力により発生する溶接箇所のせん断応力	MPa
τ_{QW}	せん断力により発生する溶接箇所のせん断応力	MPa
τ_R	補強材に生じるせん断応力	MPa
τ_S	支持鋼材・補強斜材に生じるせん断応力	MPa
τ_W	溶接断面のせん断応力	MPa
ϕ_1	低減係数	—
ϕ_2	低減係数	—

注記* : A_{Bi} , d_{oi} , F_{xBi} , F_{yBi} , F_{zBi} , l_{Bi} , p_{Bi} , Q_{1Bi} , Q_{2Bi} , q_{Bi} , T_{1Bi} , T_{2Bi} , T_{3Bi} , σ_{tBi} , σ_{tsBi} , τ_{Bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト (メカニカルアンカー)

$i = 2$: 継手ボルト

$i = 3$: 取付ボルト (照明ボルト)

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 に示すとおりである。

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 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入	小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}		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：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*5：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の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、U吊型・直吊型両モデルの部材を評価し、支持鋼材，補強斜材，補強材，照明ボルト，継手ボルト，基礎ボルト，溶接部を評価対象とする。

基礎ボルト，コンクリート部は各種合成構造設計指針・同解説に基づいたメカニカルアンカーの評価を実施する。溶接部について，補強材部の溶接は溶接隣接要素の発生応力を確認し，鋼材間の溶接部は，はり要素端部の切断力を，溶接断面の応力に換算することで評価する。取付ボルトは照明ボルトと同位置であるため，照明ボルトの評価に兼ねる。

中央制御室天井照明の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

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、「4.3 解析モデル及び諸元」に示すU吊型モデル，直吊型モデルとして考え，3次元FEMモデルによる地震応答解析を実施する。
- (2) 地震力は，中央制御室天井照明に対してNS方向，EW方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出においてSRSSにて組合せるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

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，VI-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	中央制御室天井照明	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

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	中央制御室天井照明	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)

注記*：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 4-3 許容応力（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	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IVAS						
VAS (VASとしてIVASの許容限界を 用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
補強材	SS400	周囲環境温度	40	245	400	—
支持鋼材	SS400	周囲環境温度	40	245	400	—
補強斜材	SS400	周囲環境温度	40	245	400	—
基礎ボルト (メカニカルアンカー)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	周囲環境温度	40	240	—	—
取付ボルト (照明ボルト)	SS400	周囲環境温度	40	245	400	—
継手ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
補強材	SS400	周囲環境温度	40	245	400	—
支持鋼材	SS400	周囲環境温度	40	245	400	—
補強斜材	SS400	周囲環境温度	40	245	400	—
基礎ボルト (メカニカルアンカー)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	周囲環境温度	40	240	—	—
取付ボルト (照明ボルト)	SS400	周囲環境温度	40	245	400	—
継手ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—

4.3 解析モデル及び諸元

中央制御室天井照明（U吊型及び直吊型）の解析モデルを図4-1及び図4-2に、解析モデルの概要を以下に示す。解析モデル諸元として、表4-6に支持鋼材及び補強斜材の断面性能、表4-7に溶接断面の断面性能、表4-8に質量を示す。また、機器の諸元を本計算書の【中央制御室天井照明（U吊型）の耐震性についての計算結果】及び【中央制御室天井照明（直吊型）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 支持鋼材・補強斜材を軸芯位置ではり要素によるモデル化を基本とし、これを基準に補強材をシェル要素、照明器具取付枠 a、照明器具 A を集中質量でモデル化した FEMモデルを用いる。
- (2) 照明器具（照明器具取付枠 a、照明器具 A）の質量は、器具取付位置 2 か所に均等に割り振りにて設定する。
- (3) 保守的な条件として、使用する照明器具のうち質量が一番大きい照明器具を耐震評価対象として設定する。
- (4) 拘束条件は、アンカーボルト位置の節点を並進 3 自由度拘束とする。
- (5) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）概要」に示す。

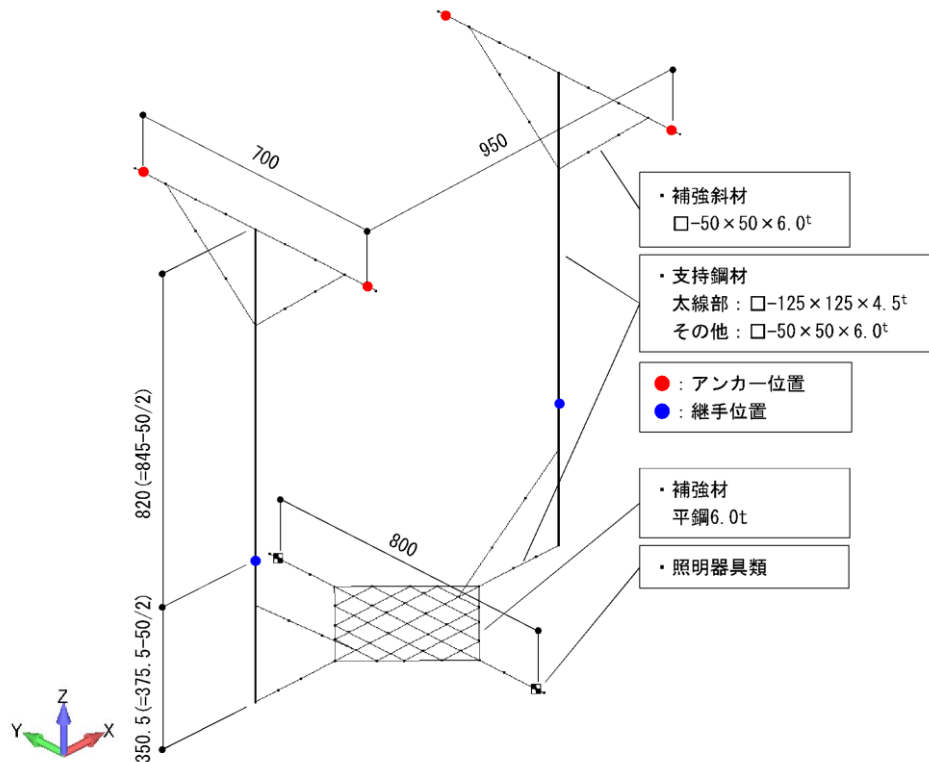


図4-1 中央制御室天井照明（U吊型）の解析モデル

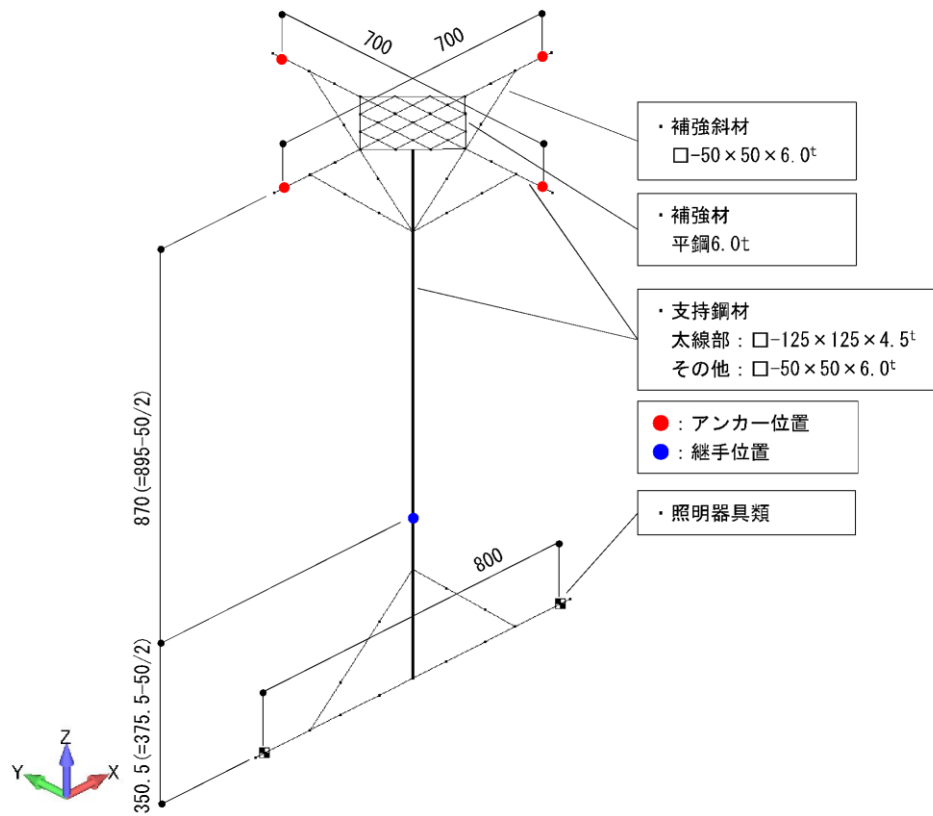


図 4-2 中央制御室天井照明（直吊型）の解析モデル

表 4-6 断面性能一覧 (支持鋼材・補強斜材)

形状	A_s (mm^2)	A_{sS} (mm^2)	I (mm^4)	J (mm^4)	Z_s (mm^3)	Z_{pS} (mm^3)
□-50×50× 6.0 ^t	1056	600.0	3.471×10^5	5.111×10^5	1.388×10^4	2.323×10^4
□-125×125 ×4.5 ^t	2117	1125	5.06×10^6	7.874×10^6	8.09×10^4	1.307×10^5

表 4-7 断面性能一覧 (溶接断面)

照明吊 タイプ	形状	A_w (mm^2)	Z_{yw} (mm^3)	Z_{zw} (mm^3)	Z_{pw} (mm^3)
共通	□-54.41×54.41 ×2.205 ^t	460.4	7.701×10^3	7.701×10^3	1.202×10^4
U吊型	C-129.41× 49.055×2.205 ^t	492.0	1.907×10^4	2.922×10^3	3.616×10^2
直吊型	□-129.41× 129.41×2.205 ^t	791.2	1.599×10^4	2.610×10^4	2.929×10^4

表 4-8 質量

部位	質量 (kg)
照明器具取付枠 a, 照明器具 A	26.27
U吊型支持鋼材	91.22
直吊型支持鋼材	53.76

4.4 固有周期

固有周期解析の結果を表 4-9 及び表 4-10 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。また、振動モード図を図 4-3 及び図 4-4 に示す。

表 4-9 U吊型モデル 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平	0.035	—	—	—
5次	鉛直	0.015	—	—	—

表 4-10 直吊型モデル 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平	0.031	—	—	—
5次	鉛直	0.005	—	—	—

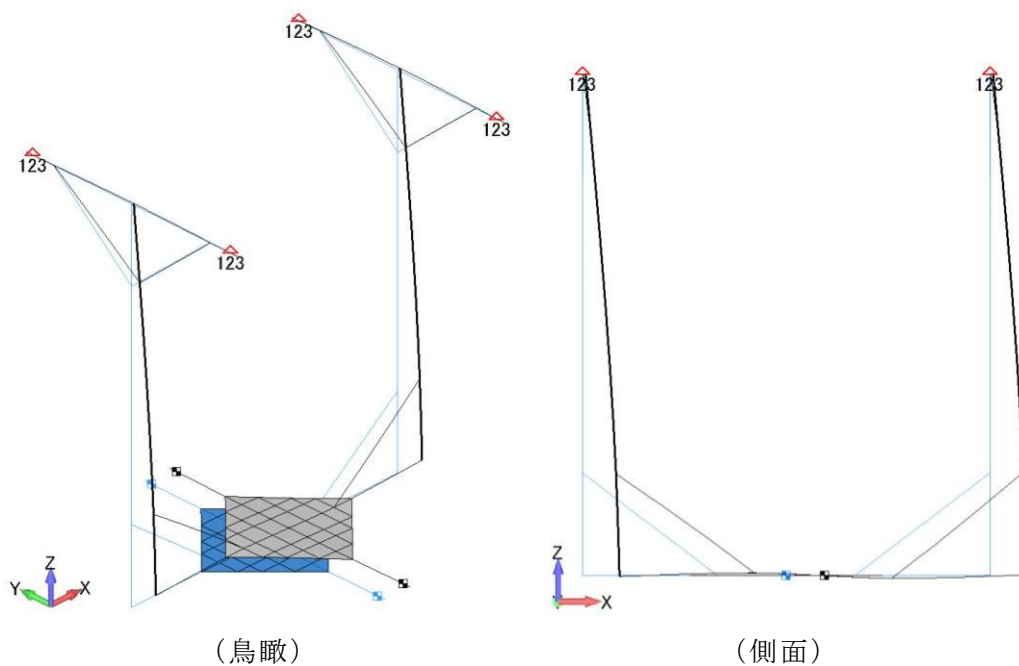


図 4-3 U吊型モデル 振動モード図 (1次)

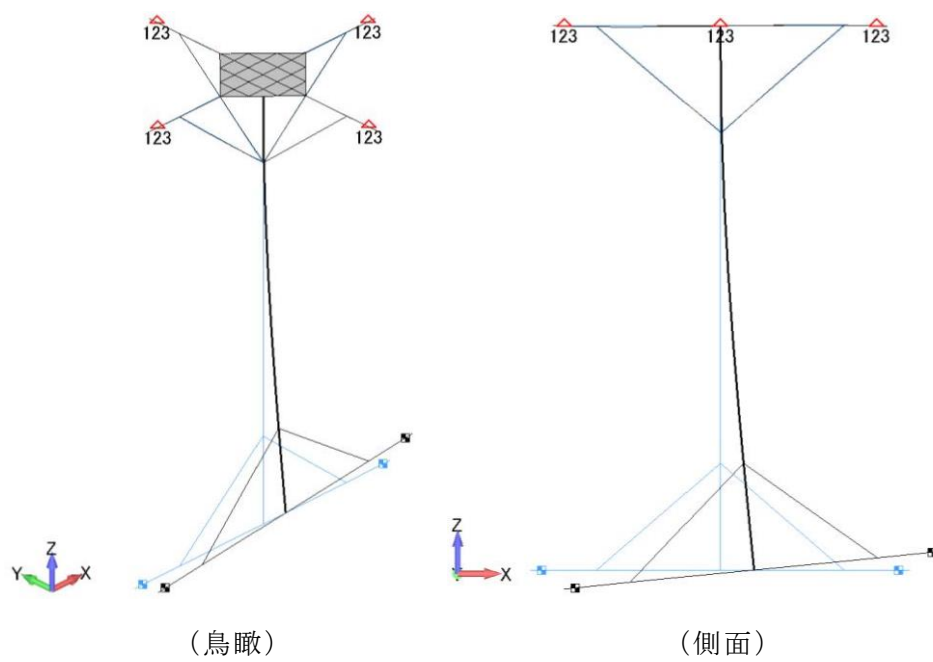


図 4-4 直吊型モデル 振動モード図 (1次)

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-11 及び表 4-12 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-11 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)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		
	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 (NS 方向)	水平方向 設計震度 (EW 方向)	鉛直方向 設計震度
制御室建物 EL. 22.050 ^{*1}	0.035	0.05 以下	—	—	$C_{H(NS)} = 1.68^{*2}$	$C_{H(EW)} = 2.43^{*2}$	$C_V = 1.19^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

表 4-12 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)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		
	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 (NS 方向)	水平方向 設計震度 (EW 方向)	鉛直方向 設計震度
制御室建物 EL. 22.050 ^{*1}	0.035	0.05 以下	—	—	$C_{H(NS)} = 1.68^{*2}$	$C_{H(EW)} = 2.43^{*2}$	$C_V = 1.19^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 補強材

補強材は，解析により出力される相当応力（Von-Mises 応力）を集計する。

4.6.1.2 支持鋼材・補強斜材

支持鋼材・補強斜材は，解析により出力される断面力を応力に換算する。

以下に，評価項目毎の発生応力の算出式を示す。

- (1) 引張応力（軸力 F_{xS} の方向が引張方向）

$$\sigma_{tS} = \frac{F_{xS}}{A_S} \dots \dots \dots (4.6.1.2.1)$$

- (2) 圧縮応力（軸力 F_{xS} の方向が圧縮方向）

$$\sigma_{cS} = \frac{F_{xS}}{A_S} \dots \dots \dots (4.6.1.2.2)$$

- (3) せん断応力

$$\tau_S = \sqrt{\left(\frac{F_{yS}}{A_{s y S}}\right)^2 + \left(\frac{F_{zS}}{A_{s z S}}\right)^2} + \frac{M_{xS}}{Z_{pS}} \dots \dots \dots (4.6.1.2.3)$$

- (4) 曲げ応力

$$\sigma_{bS} = \frac{M_{yS}}{Z_{yS}} + \frac{M_{zS}}{Z_{zS}} \dots \dots \dots (4.6.1.2.4)$$

- (5) 組合せ応力（垂直応力+せん断応力）

垂直応力とせん断応力を生じる部材は，次式を満足することを確認する。

$$\sigma_{eqS} = \sqrt{(\sigma_{vS} + \sigma_{bS})^2 + 3\tau_S^2} \dots \dots \dots (4.6.1.2.5)$$

(6) 組合せ応力(圧縮+曲げ)

圧縮力と曲げモーメントを受ける部材応力は、次式を満足することを確認する。

$$\textcircled{1} \frac{\sigma_c S}{1.5f_c^*} + \frac{\sigma_b S}{1.5f_b^*} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots (4.6.1.2.6)$$

$$\textcircled{2} \frac{\sigma_b S - \sigma_c S}{1.5f_t^*} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots (4.6.1.2.7)$$

(7) 組合せ応力(引張+曲げ)

引張力と曲げモーメントを受ける部材応力は、次式を満足することを確認する。

$$\textcircled{1} \frac{\sigma_t S + \sigma_b S}{1.5f_t^*} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots (4.6.1.2.8)$$

$$\textcircled{2} \frac{\sigma_b S - \sigma_t S}{1.5f_b^*} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots (4.6.1.2.9)$$

4.6.1.3 取付ボルト (照明ボルト)

照明ボルトは、解析により出力されるばね反力を応力に換算する。

以下に、評価項目毎の発生応力の算出式を示す。

(1) 引張応力

$$\sigma_{tB3} = \frac{F_{zB3}}{A_{B3}} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.3.1)$$

(2) せん断応力

$$\tau_{B3} = \frac{\sqrt{(F_{xB3}^2 + F_{yB3}^2)}}{A_{B3}} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.3.2)$$

4.6.1.4 継手ボルト

継手ボルトは、解析により出力される節点力を、継手のボルト配置を考慮して、応力に換算する。

以下に、評価項目毎の発生応力の算出式を示す。また継手部概要を図4-5及び、図4-6に示す。

(1) 引張応力

$$\sigma_{tB2} = \frac{T_{1B2} + T_{2B2} + T_{3B2}}{A_{B2}} \dots \dots \dots (4.6.1.4.1)$$

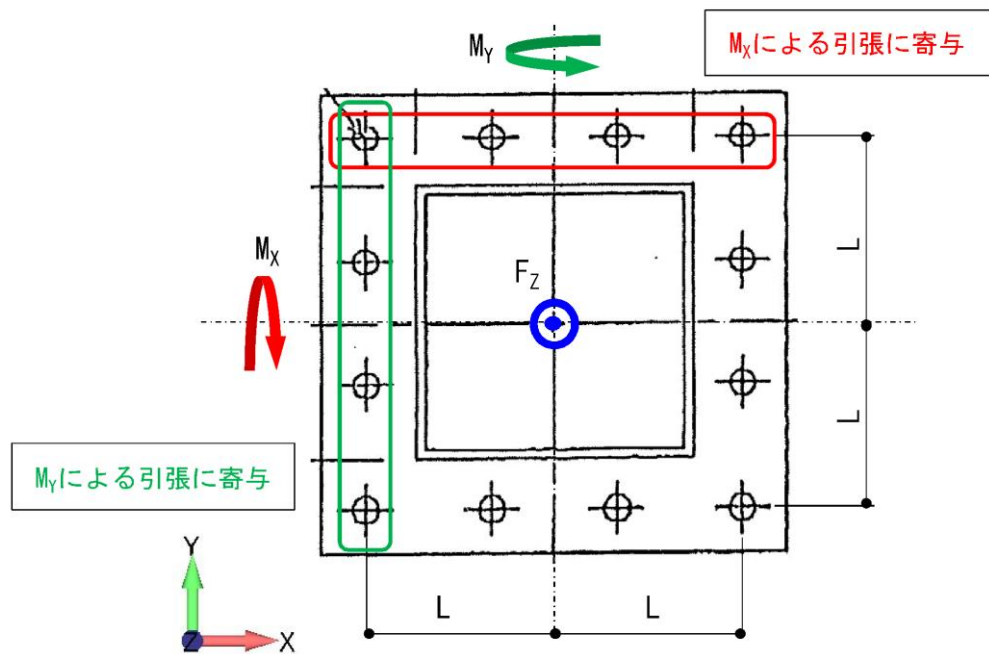


図4-5 継手部概要

(2) せん断応力

$$\tau_{B2} = \frac{\sqrt{Q_{1B2}^2 + Q_{2B2}^2}}{A_{B2}} \dots \dots \dots (4.6.1.4.2)$$

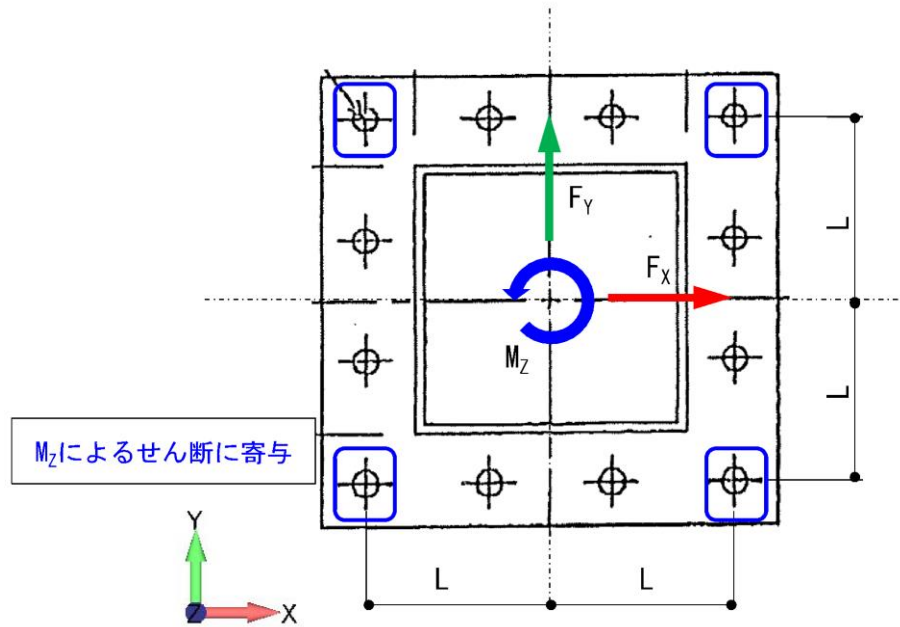


図 4-6 継手部概要

4.6.1.5 基礎ボルト（アンカーボルト）

アンカーボルトは、解析により出力される拘束点反力を用いて、アンカー打設面コンクリートのコーン状破壊を考慮した強度評価を実施する。

以下に、評価項目毎の発生荷重の算出式を示す。

(1) 引張荷重

$$p_{B1} = F_{zB1} \dots \dots \dots (4.6.1.5.1)$$

(2) せん断荷重

$$q_{B1} = \sqrt{F_{xB1}^2 + F_{yB1}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.5.2)$$

(3) 組合せ

$$\left(\frac{p_{B1}}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{B1}}{q_a}\right)^2 \dots \dots \dots (4.6.1.5.3)$$

4.6.1.6 溶接部

溶接部は、解析により出力される節点力を、溶接部の溶接断面を考慮してせん断応力に換算する。

以下に、発生せん断応力の算出式を示す。

(1) せん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\tau_{NW}^2 + \tau_{QW}^2 + \tau_{MW}^2 + \tau_{MtW}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.6.1)$$

ここで、

τ_{NW} : 軸力により発生する溶接箇所のせん断応力 (MPa)

τ_{QW} : せん断力により発生する溶接箇所のせん断応力 (MPa)

τ_{MW} : 曲げモーメントにより発生する溶接箇所のせん断応力 (MPa)

τ_{MtW} : ねじりモーメントにより発生する溶接箇所のせん断応力 (MPa)

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（中央制御室天井照明）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【中央制御室天井照明（U吊型モデル）の耐震性についての計算結果】及び【中央制御室天井照明（直吊型）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 ボルト以外の応力評価

4.6.1.1項，4.6.1.2項及び4.6.1.6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。ただし，許容組合せ応力は f_{tm} 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
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_{cm}	$\left\{1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F^*}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_{bm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

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

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

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

4.8.2 取付ボルト及び継手ボルトの応力評価

4.6.1.3 項及び 4.6.1.4 項で求めた取付ボルト，継手ボルトの引張応力 σ_{tBi} は，次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし， f_{to} は下表による。

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

せん断応力 τ_{Bi} はせん断力のみを受ける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。

$\begin{matrix} \diagdown \\ \diagup \end{matrix}$	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}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.3 基礎ボルト（アンカーボルト）の評価

4.6.1.5 項で求めた基礎ボルトの引張荷重 p_{B1} 及びせん断荷重 q_{B1} が許容値以下であること。また，引張応力比とせん断応力比の二乗和が 1 以下であること。

$\begin{matrix} \diagdown \\ \diagup \end{matrix}$	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張力 p_a	$\text{min}[p_{a1}, p_{a2}]$
許容せん断力 q_a	$\text{min}[q_{a1}, q_{a2}, q_{a3}]$
組合せ	$\left(\frac{p_{B1}}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{B1}}{q_a}\right)^2 \leq 1$

(1) 引張力を受ける場合

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$p_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c \sigma_t \cdot A C$$

ここで、

p_{a1} : ボルトの降伏により決まる許容引張荷重 (N)

p_{a2} : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容引張荷重 (N)

α_c : 施工のばらつきを考慮した低減係数で、 $\alpha_c = 0.75$ とする。

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数であり、以下の表に従う。

	ϕ_1	ϕ_2
短期荷重用	1.0	2/3

$s\sigma_{pa}$: ボルトの引張強度で、 $s\sigma_{pa} = s\sigma_y$ とする。(MPa)

$s\sigma_y$: ボルトの降伏点強度であり、 $s\sigma_y = S_y$ とする。(MPa)

sca : ボルト各部の最小断面積 (mm^2) 又はこれに接合される鋼材の断面積で危険断面における値

$c\sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度で

$$c\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c} \text{ とする。 (MPa)}$$

F_c : コンクリートの設計基準強度 (MPa)

A_c : コーン状破壊面の有効水平投影面積で、 $A_c = \pi \cdot l_{ce} (l_{ce} + D)$ とする。(mm²)

D : アンカーボルト本体の直径 (mm)

l : アンカーボルトの埋込み深さで、母材表面から拡張面先端までの距離 (mm)

$$l_{ce} : \text{強度算定用埋込み深さで } l_{ce} = \begin{cases} l, & l < 4D \\ 4D, & l \geq 4D \end{cases} \text{ (mm)}$$

(2) せん断力を受ける場合

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s\sigma_{qa} \cdot sca$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c\sigma_{qa} \cdot sca$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c\sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

q_{a1} : ボルトのせん断強度により決まる許容せん断荷重 (N)

q_{a2} : コンクリートの支圧強度により決まる許容せん断荷重 (N)

q_{a3} : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容せん断荷重 (N)

α_c : 施工のばらつきを考慮した低減係数で、 $\alpha_c = 0.75$ とする。

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数であり、(1) において示す表に従う。

$s \sigma_{qa}$: ボルトのせん断強度で、 $s \sigma_{qa} = 0.7 \cdot s \sigma_y$ とする。
(MPa)

$c \sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度で
 $c \sigma_t = 0.31 \sqrt{F_c}$ とする。(MPa)

$s c_a$: ボルトのコンクリート表面における断面積 (mm²)

$c \sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度で $c \sigma_{qa} = 0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$ とする。
(MPa)

E_c : コンクリートの縦弾性係数 (MPa)

A_{qc} : せん断荷重方向の側面におけるコーン状破壊面の有効投影面積で、 $A_{qc} = 0.5 \cdot \pi c^2$ とする。(mm²)

c : へりあき寸法 (mm)

(3) 組合せ

基礎ボルトが引張荷重 p_{B1} 及びせん断荷重 q_{B1} の組合せ荷重を受ける場合、以下となるようにする。

$$\left(\frac{p_{B1}}{p_a} \right)^2 + \left(\frac{q_{B1}}{q_a} \right)^2 \leq 1$$

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することを確認した。

(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。

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することを確認した。

(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。

【中央制御室天井照明（U吊型）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 d 又は静的震度		基準地震動 S s			最高使用 温度 (°C)	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 (N S方向)	水平方向 設計震度 (E W方向)	鉛直方向 設計震度		
中央制御室 天井照明	C	制御室建物 EL. 22.050*1	0.035	0.05 以下	—	—	$C_H(N S) = 1.68^{*2}$	$C_H(E W) = 2.43^{*2}$	$C_V = 1.19^{*2}$	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	材料	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	ν	F (MPa)	F* (MPa)
補強材	SS400	2.02×10^5	245	400	0.3	245	280
支持鋼材	SS400	2.02×10^5	245	400	0.3	245	280
補強斜材	SS400	2.02×10^5	245	400	0.3	245	280
基礎ボルト (メカニカルアンカー)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	—	240	—	—	—	—
継手ボルト	SUS304	—	205	520	—	205	205
取付ボルト (照明ボルト)	SS400	—	245	400	—	245	280

材料定数（アンカー打設面コンクリート）

F _c (MPa)	22.1
E _c (MPa)	2.20×10^4
ν	0.2
γ (kN/m ³)	24

照明ボルト，継手ボルト諸元

部位	材料	d _{oi} (mm)	A _{Bi} (mm ²)
照明ボルト (i = 3)	SS400	12	113.1
継手ボルト (i = 2)	SUS304	10	78.54

アンカーボルト諸元

材料	d _{oi} (mm)	s c a (mm ²)	l B i (mm)
SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	12	63.9	50

1.3 結論

1.3.1 固有周期

固有周期評価結果 (単位: s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.035
5次	鉛直	0.015

1.3.2 応力

補強材(板材)応力解析結果 (単位: MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
補強材	SS400	引張	$\sigma_{tR} = 12$	$f_{tm} = 280$
		せん断	$\tau_R = 12$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

支持鋼材・補強斜材（梁材）応力評価結果

（単位：MPa）

断面形状	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
□-50×50×6.0 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 11$	$f_{tm} = 280$
		圧縮	$\sigma_{cS} = 11^*$	$f_{cm} = 248$
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$
		曲げ	$\sigma_{bS} = 54$	$f_{bm} = 280$
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 57$	$f_{eq} = 280$
		圧縮+曲げ①	$\sigma_{cb1S} = 0.197$	$f_{cb1} = 1.0$
		圧縮+曲げ②	$\sigma_{cb2S} = 0.190$	$f_{cb2} = 1.0$
		引張+曲げ①	$\sigma_{tb1S} = 0.197$	$f_{tb1} = 1.0$
		引張+曲げ②	$\sigma_{tb2S} = 0.190$	$f_{tb2} = 1.0$
□-125×125×4.5 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 3$	$f_{tm} = 280$
		圧縮	$\sigma_{cS} = 3^*$	$f_{cm} = 250$
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$
		曲げ	$\sigma_{bS} = 25$	$f_{bm} = 280$
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 30$	$f_{eq} = 280$
		圧縮+曲げ①	$\sigma_{cb1S} = 0.102$	$f_{cb1} = 1.0$
		圧縮+曲げ②	$\sigma_{cb2S} = 0.086$	$f_{cb2} = 1.0$
		引張+曲げ①	$\sigma_{tb1S} = 0.100$	$f_{tb1} = 1.0$
		引張+曲げ②	$\sigma_{tb2S} = 0.086$	$f_{tb2} = 1.0$

すべて許容応力以下である。

注記*：絶対値を記載

ボルト材応力評価結果

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
取付ボルト (照明ボルト)	SS400	引張	$\sigma_{tBi} = 4$	$f_{tm} = 210$
		せん断	$\tau_{Bi} = 7$	$f_{sm} = 161$
		組合せ	$\sigma_{tsBi} = 4$	$f_{ts} = 210^*$
継手ボルト	SUS304	引張	$\sigma_{tBi} = 79$	$f_{tm} = 153$
		せん断	$\tau_{Bi} = 5$	$f_{sm} = 118$
		組合せ	$\sigma_{tsBi} = 79$	$f_{ts} = 153^*$

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{Bi}, f_{to}]$

35

アンカーボルト強度評価結果

部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
			算出荷重	許容荷重	
基礎ボルト (メカニカル アンカー)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	引張	3319	6592	単位：N
		せん断	3472	10735	単位：N
		組合せ	0.359	1.000	単位：なし

すべて許容荷重以下である。

溶接部応力評価結果

(単位：MPa)

部材	応力	基準地震動 S s	
		算出応力	許容応力
溶接部	せん断	$\tau_w = 129$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

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 _d 又は静的震度		基準地震動 S _s			最高使用 温度 (°C)	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 (NS方向)	水平方向 設計震度 (EW方向)	鉛直方向 設計震度		
中央制御室 天井照明	—	制御室建物 EL. 22.050* ¹	0.035	0.05 以下	—	—	C _H (NS) = 1.68* ²	C _H (EW) = 2.43* ²	C _V = 1.19* ²	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	材料	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	ν	F (MPa)	F* (MPa)
補強材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
支持鋼材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
補強斜材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
基礎ボルト (メカニカルアンカー)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	—	240	—	—	—	—
継手ボルト	SUS304	—	205	520	—	205	205
取付ボルト (照明ボルト)	SS400	—	245	400	—	245	280

材料定数（アンカー打設面コンクリート）

F _c (MPa)	22.1
E _c (MPa)	2.20×10 ⁴
ν	0.2
γ (kN/m ³)	24

照明ボルト，継手ボルト諸元

部位	材料	d _{oi} (mm)	A _{Bi} (mm ²)
照明ボルト (i = 3)	SS400	12	113.1
継手ボルト (i = 2)	SUS304	10	78.54

アンカーボルト諸元

材料	d _{oi} (mm)	s c a (mm ²)	l B i (mm)
SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	12	63.9	50

2.3 結論

2.3.1 固有周期

固有周期評価結果 (単位: s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.035
5次	鉛直	0.015

2.3.2 応力

補強材(板材)応力解析結果 (単位: MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力
補強材	SS400	引張	$\sigma_{tR} = 12$	$f_{tm} = 280$
		せん断	$\tau_R = 12$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

支持鋼材・補強斜材（梁材）応力評価結果

（単位：MPa）

断面形状	材料	応力	基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力
□-50×50×6.0 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 11$	$f_{tm} = 280$
		圧縮	$\sigma_{cS} = 11^*$	$f_{cm} = 248$
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$
		曲げ	$\sigma_{bS} = 54$	$f_{bm} = 280$
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 57$	$f_{eq} = 280$
		圧縮+曲げ①	$\sigma_{cb1S} = 0.197$	$f_{cb1} = 1.0$
		圧縮+曲げ②	$\sigma_{cb2S} = 0.190$	$f_{cb2} = 1.0$
		引張+曲げ①	$\sigma_{tb1S} = 0.197$	$f_{tb1} = 1.0$
		引張+曲げ②	$\sigma_{tb2S} = 0.190$	$f_{tb2} = 1.0$
□-125×125×4.5 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 3$	$f_{tm} = 280$
		圧縮	$\sigma_{cS} = 3^*$	$f_{cm} = 250$
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$
		曲げ	$\sigma_{bS} = 25$	$f_{bm} = 280$
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 30$	$f_{eq} = 280$
		圧縮+曲げ①	$\sigma_{cb1S} = 0.102$	$f_{cb1} = 1.0$
		圧縮+曲げ②	$\sigma_{cb2S} = 0.086$	$f_{cb2} = 1.0$
		引張+曲げ①	$\sigma_{tb1S} = 0.100$	$f_{tb1} = 1.0$
		引張+曲げ②	$\sigma_{tb2S} = 0.086$	$f_{tb2} = 1.0$

すべて許容応力以下である。

注記*：絶対値を記載

ボルト材応力評価結果

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
取付ボルト (照明ボルト)	SS400	引張	$\sigma_{tBi} = 4$	$f_{tm} = 210$
		せん断	$\tau_{Bi} = 7$	$f_{sm} = 161$
		組合せ	$\sigma_{tsBi} = 4$	$f_{ts} = 210^*$
継手ボルト	SUS304	引張	$\sigma_{tBi} = 79$	$f_{tm} = 153$
		せん断	$\tau_{Bi} = 5$	$f_{sm} = 118$
		組合せ	$\sigma_{tsBi} = 79$	$f_{ts} = 153^*$

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{Bi}, f_{to}]$

40

アンカーボルト強度評価結果

部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
			算出荷重	許容荷重	
基礎ボルト (メカニカル アンカー)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	引張	3319	6592	単位：N
		せん断	3472	10735	単位：N
		組合せ	0.359	1.000	単位：なし

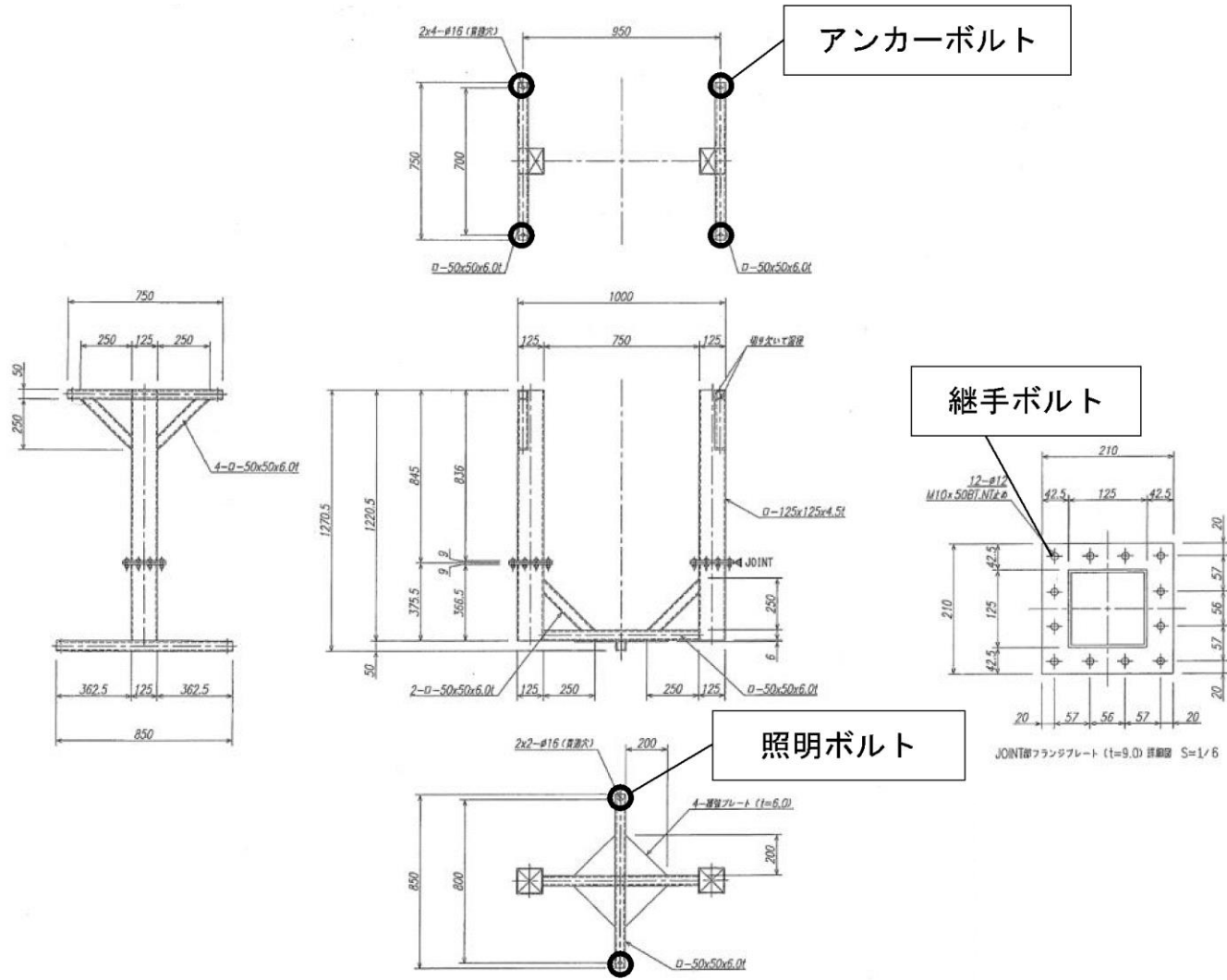
すべて許容荷重以下である。

溶接部応力評価結果

(単位：MPa)

部材	応力	基準地震動 S s	
		算出応力	許容応力
溶接部	せん断	$\tau_w = 129$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。



U吊型

【中央制御室天井照明（直吊型）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 d 又は静的震度		基準地震動 S s			最高使用 温度 (°C)	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 (NS方向)	水平方向 設計震度 (EW方向)	鉛直方向 設計震度		
中央制御室 天井照明	C	制御室建物 EL. 22.050*1	0.031	0.05 以下	—	—	$C_H(NS) = 1.68^{*2}$	$C_H(EW) = 2.43^{*2}$	$C_V = 1.19^{*2}$	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	材料	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	ν	F (MPa)	F* (MPa)
補強材	SS400	2.02×10^5	245	400	0.3	245	280
支持鋼材	SS400	2.02×10^5	245	400	0.3	245	280
補強斜材	SS400	2.02×10^5	245	400	0.3	245	280
基礎ボルト (メカニカルアンカー)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	—	240	—	—	—	—
継手ボルト	SUS304	—	205	520	—	205	205
取付ボルト (照明ボルト)	SS400	—	245	400	—	245	280

材料定数（アンカー打設面コンクリート）

F _c (MPa)	22.1
E _c (MPa)	2.20×10^4
ν	0.2
γ (kN/m ³)	24

照明ボルト，継手ボルト諸元

部位	材料	d _{oi} (mm)	A _{Bi} (mm ²)
照明ボルト (i = 3)	SS400	12	113.1
継手ボルト (i = 2)	SUS304	10	78.54

アンカーボルト諸元

材料	d _{oi} (mm)	s c a (mm ²)	l _{Bi} (mm)
SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	12	63.9	50

1.3 結論

1.3.1 固有周期

固有周期評価結果 (単位: s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.031
5次	鉛直	0.005

1.3.2 応力

板材応力解析結果 (単位: MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
補強材	SS400	引張	$\sigma_{tR} = 4$	$f_{tm} = 280$
		せん断	$\tau_R = 4$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

支持鋼材・補強斜材（梁材）応力評価結果

（単位：MPa）

断面形状	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
□-50×50×6.0 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 8$	$f_{tm} = 280$
		圧縮	$\sigma_{cS} = 8^*$	$f_{cm} = 248$
		せん断	$\tau_S = 7$	$f_{sm} = 161$
		曲げ	$\sigma_{bS} = 23$	$f_{bm} = 280$
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 29$	$f_{eq} = 280$
		圧縮+曲げ①	$\sigma_{cb1S} = 0.095$	$f_{cb1} = 1.0$
		圧縮+曲げ②	$\sigma_{cb2S} = 0.072$	$f_{cb2} = 1.0$
		引張+曲げ①	$\sigma_{tb1S} = 0.093$	$f_{tb1} = 1.0$
		引張+曲げ②	$\sigma_{tb2S} = 0.072$	$f_{tb2} = 1.0$
□-125×125×4.5 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 1$	$f_{tm} = 280$
		圧縮	$\sigma_{cS} = 1^*$	$f_{cm} = 250$
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$
		曲げ	$\sigma_{bS} = 44$	$f_{bm} = 280$
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 46$	$f_{eq} = 280$
		圧縮+曲げ①	$\sigma_{cb1S} = 0.162$	$f_{cb1} = 1.0$
		圧縮+曲げ②	$\sigma_{cb2S} = 0.154$	$f_{cb2} = 1.0$
		引張+曲げ①	$\sigma_{tb1S} = 0.161$	$f_{tb1} = 1.0$
		引張+曲げ②	$\sigma_{tb2S} = 0.154$	$f_{tb2} = 1.0$

すべて許容応力以下である。

注記*：絶対値を記載

ボルト材応力評価結果

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
取付ボルト (照明ボルト)	SS400	引張	$\sigma_{tBi} = 4$	$f_{tm} = 210$
		せん断	$\tau_{Bi} = 7$	$f_{sm} = 161$
		組合せ	$\sigma_{tsBi} = 4$	$f_{ts} = 210^*$
継手ボルト	SUS304	引張	$\sigma_{tBi} = 43$	$f_{tm} = 153$
		せん断	$\tau_{Bi} = 3$	$f_{sm} = 118$
		組合せ	$\sigma_{tsBi} = 43$	$f_{ts} = 153^*$

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{Bi}, f_{to}]$

アンカーボルト強度評価結果

部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
			算出荷重	許容荷重	
基礎ボルト (メカニカル アンカー)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	引張	4187	6592	単位：N
		せん断	2163	10735	単位：N
		組合せ	0.445	1.000	単位：なし

すべて許容荷重以下である。

溶接部応力評価結果

(単位：MPa)

部材	応力	基準地震動 S s	
		算出応力	許容応力
溶接部	せん断	$\tau_w = 26$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

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 _d 又は静的震度		基準地震動 S _s			最高使用 温度 (°C)	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 (NS方向)	水平方向 設計震度 (EW方向)	鉛直方向 設計震度		
中央制御室 天井照明	—	制御室建物 EL. 22.050*1	0.031	0.05 以下	—	—	C _H (NS) = 1.68*2	C _H (EW) = 2.43*2	C _V = 1.19*2	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	材料	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	ν	F (MPa)	F* (MPa)
補強材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
支持鋼材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
補強斜材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
基礎ボルト (メカニカルアンカー)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	—	240	—	—	—	—
継手ボルト	SUS304	—	205	520	—	205	205
取付ボルト (照明ボルト)	SS400	—	245	400	—	245	280

材料定数 (アンカー打設面コンクリート)

F _c (MPa)	22.1
E _c (MPa)	2.20×10 ⁴
ν	0.2
γ (kN/m ³)	24

照明ボルト，継手ボルト諸元

部位	材料	d _{oi} (mm)	A _{Bi} (mm ²)
照明ボルト (i = 3)	SS400	12	113.1
継手ボルト (I = 2)	SUS304	10	78.54

アンカーボルト諸元

材料	d _{oi} (mm)	s c a (mm ²)	l _{Bi} (mm)
SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	12	63.9	50

2.3 結論

2.3.1 固有周期

固有周期評価結果 (単位: s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.031
5次	鉛直	0.005

2.3.2 応力

板材応力解析結果 (単位: MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力
補強材	SS400	引張	$\sigma_{tR} = 4$	$f_{tm} = 280$
		せん断	$\tau_R = 4$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

支持鋼材・補強斜材（梁材）応力評価結果

（単位：MPa）

断面形状	材料	応力	基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力
□-50×50×6.0 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 8$	$f_{tm} = 280$
		圧縮	$\sigma_{cS} = 8^*$	$f_{cm} = 248$
		せん断	$\tau_S = 7$	$f_{sm} = 161$
		曲げ	$\sigma_{bS} = 23$	$f_{bm} = 280$
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 29$	$f_{eq} = 280$
		圧縮+曲げ①	$\sigma_{cb1S} = 0.095$	$f_{cb1} = 1.0$
		圧縮+曲げ②	$\sigma_{cb2S} = 0.072$	$f_{cb2} = 1.0$
		引張+曲げ①	$\sigma_{tb1S} = 0.093$	$f_{tb1} = 1.0$
		引張+曲げ②	$\sigma_{tb2S} = 0.072$	$f_{tb2} = 1.0$
□-125×125×4.5 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 1$	$f_{tm} = 280$
		圧縮	$\sigma_{cS} = 1^*$	$f_{cm} = 250$
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$
		曲げ	$\sigma_{bS} = 44$	$f_{bm} = 280$
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 46$	$f_{eq} = 280$
		圧縮+曲げ①	$\sigma_{cb1S} = 0.162$	$f_{cb1} = 1.0$
		圧縮+曲げ②	$\sigma_{cb2S} = 0.154$	$f_{cb2} = 1.0$
		引張+曲げ①	$\sigma_{tb1S} = 0.161$	$f_{tb1} = 1.0$
		引張+曲げ②	$\sigma_{tb2S} = 0.154$	$f_{tb2} = 1.0$

すべて許容応力以下である。

注記*：絶対値を記載

ボルト材応力評価結果

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
取付ボルト (照明ボルト)	SS400	引張	$\sigma_{tBi} = 4$	$f_{tm} = 210$
		せん断	$\tau_{Bi} = 7$	$f_{sm} = 161$
		組合せ	$\sigma_{tsBi} = 4$	$f_{ts} = 210^*$
継手ボルト	SUS304	引張	$\sigma_{tBi} = 43$	$f_{tm} = 153$
		せん断	$\tau_{Bi} = 3$	$f_{sm} = 118$
		組合せ	$\sigma_{tsBi} = 43$	$f_{ts} = 153^*$

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{Bi}, f_{to}]$

アンカーボルト強度評価結果

部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
			算出荷重	許容荷重	
基礎ボルト (メカニカル アンカー)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	引張	4187	6592	単位：N
		せん断	2163	10735	単位：N
		組合せ	0.445	1.000	単位：なし

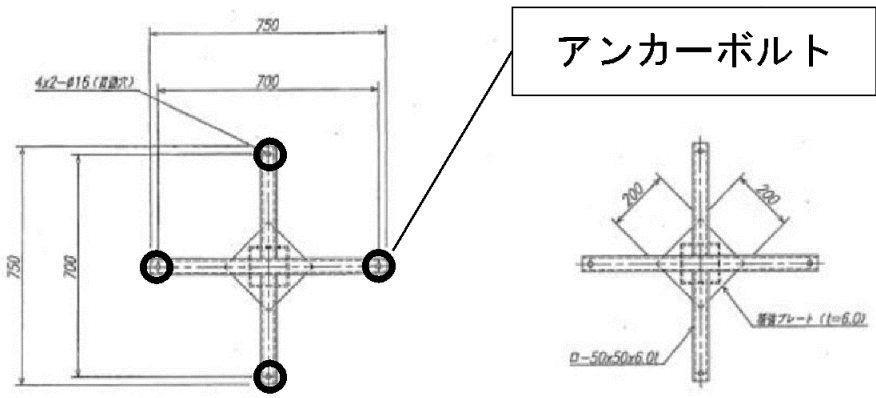
すべて許容荷重以下である。

溶接部応力評価結果

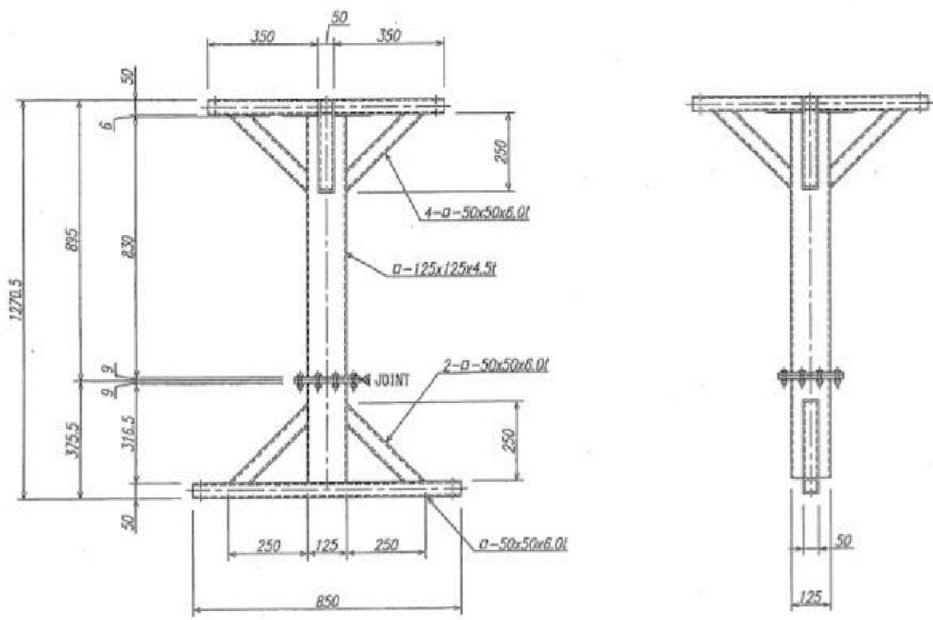
(単位：MPa)

部材	応力	基準地震動 S s	
		算出応力	許容応力
溶接部	せん断	$\tau_w = 26$	$f_{sm} = 161$

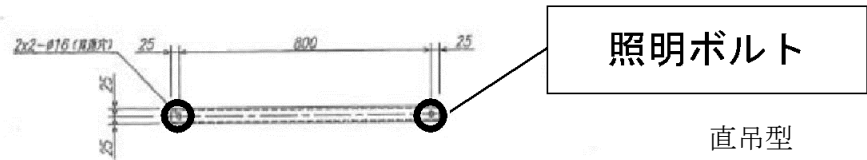
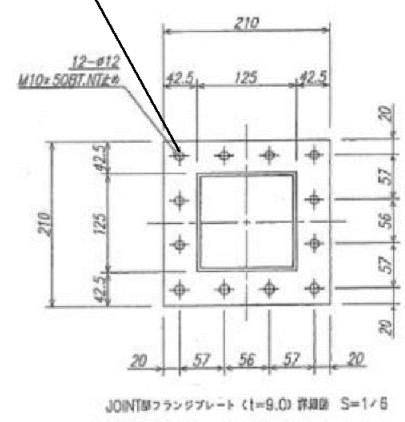
すべて許容応力以下である。



アンカーボルト



継手ボルト



照明ボルト

直吊型