

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-2-040-17 改2
提出年月日	2020年5月28日

V-2-9-3-1-2 主蒸気系トンネル室ブローアウトパネルの耐震性
についての計算書

2020年5月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-9-3-1-2 主蒸気系トンネル室
ブローアウトパネルの耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造概要	5
2.3	評価方針	8
2.3.1	S d 閉機能維持	9
2.3.2	S s 開機能維持	9
2.4	適用規格・基準等	10
3.	S d 閉機能維持評価	11
3.1	モックアップ試験による確認	11
3.2	地震応答解析による確認	12
3.2.1	固有周期の算定	12
3.2.2	設計用地震力	15
3.2.3	評価方法	16
3.2.4	評価結果	16
4.	S s 開機能維持評価	17
4.1	取付け状況	17
4.2	層間変位の算定	18
4.3	評価結果	18

1. 概要

本計算書は、V-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちV-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）主蒸気系トンネル室（以下「MSトンネル室」という。）のタービン建屋境界部に設置されている主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル（以下「MSトンネル室BOP」という。）が弾性設計用地震動 S_d による地震力に対し開放しないこと、基準地震動 S_s による地震力に対し開放機能が維持できる構造強度を有していることを説明するものである。

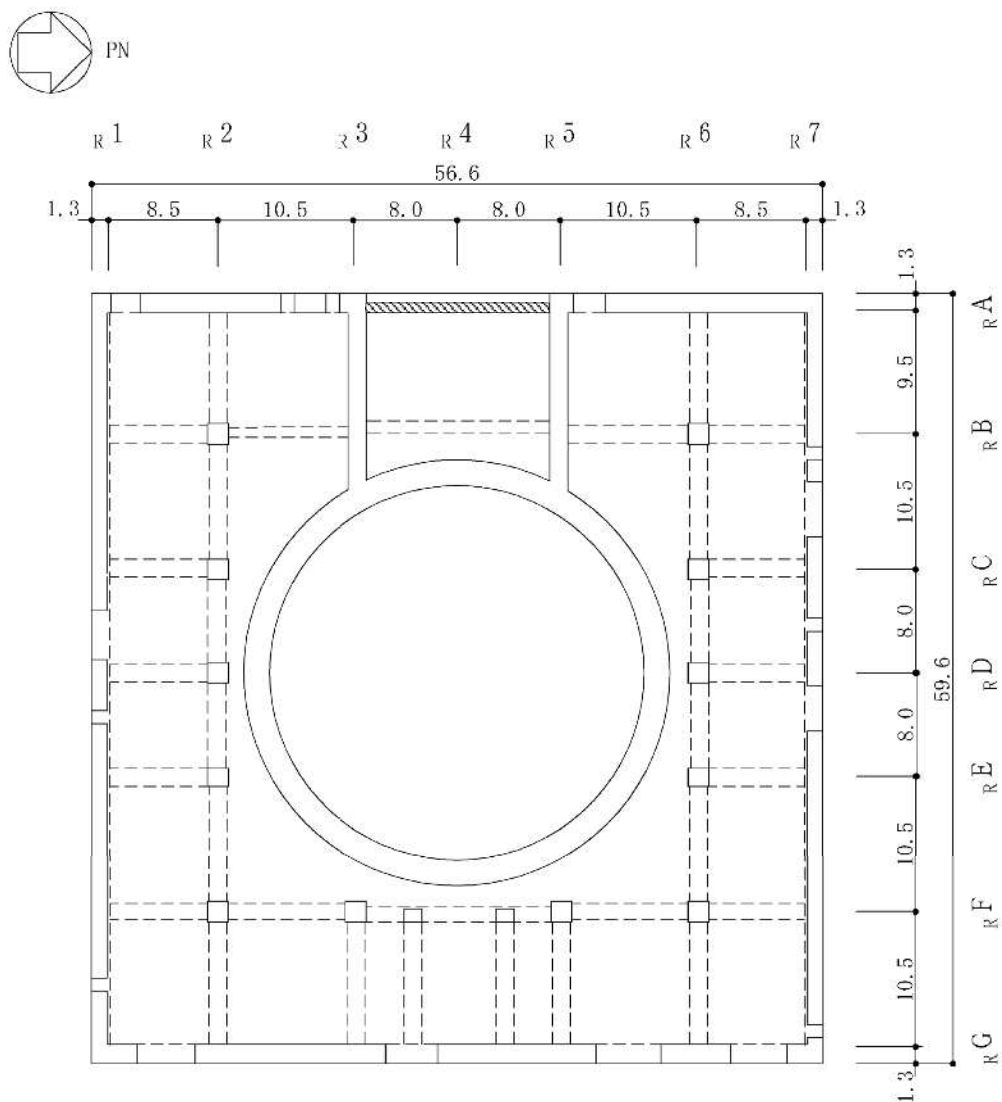
MSトンネル室BOPは、設計基準対象施設において「Sクラスの施設」に、重大事故等対処設備においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。

2. 一般事項

2.1 配置概要

MS トンネル室 BOP は、原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の MS トンネル室タービン建屋側開口部（東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）12.3m～23.5m）に配置されている。

MS トンネル室 BOP の設置位置平面図及び断面図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。



MS トンネル室 BOP

図 2-1 MS トンネル室 BOP の設置位置平面図（単位：m）（1/2）

(T. M. S. L. 12.3m)

K7 ① V-2-9-3-1-2 R0

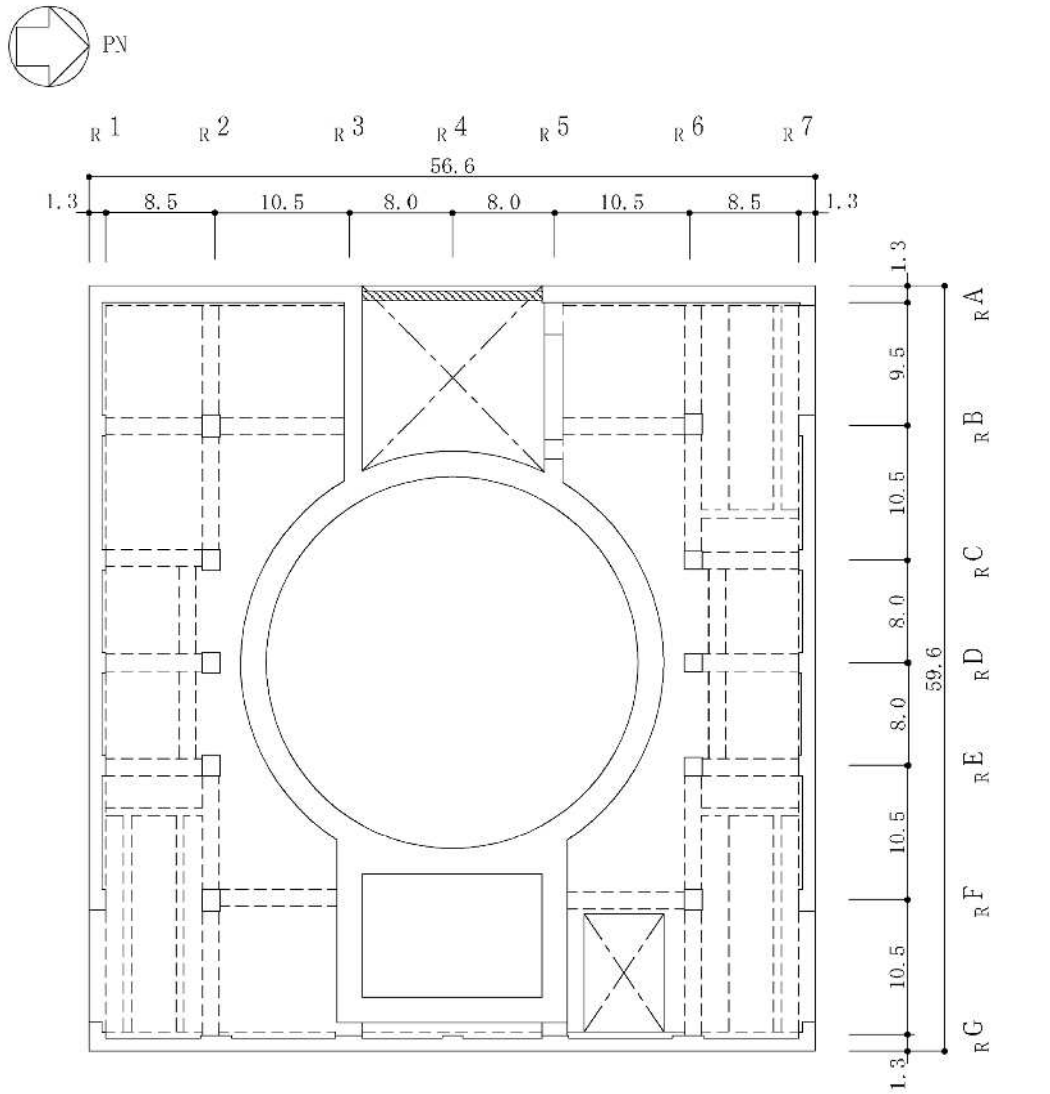
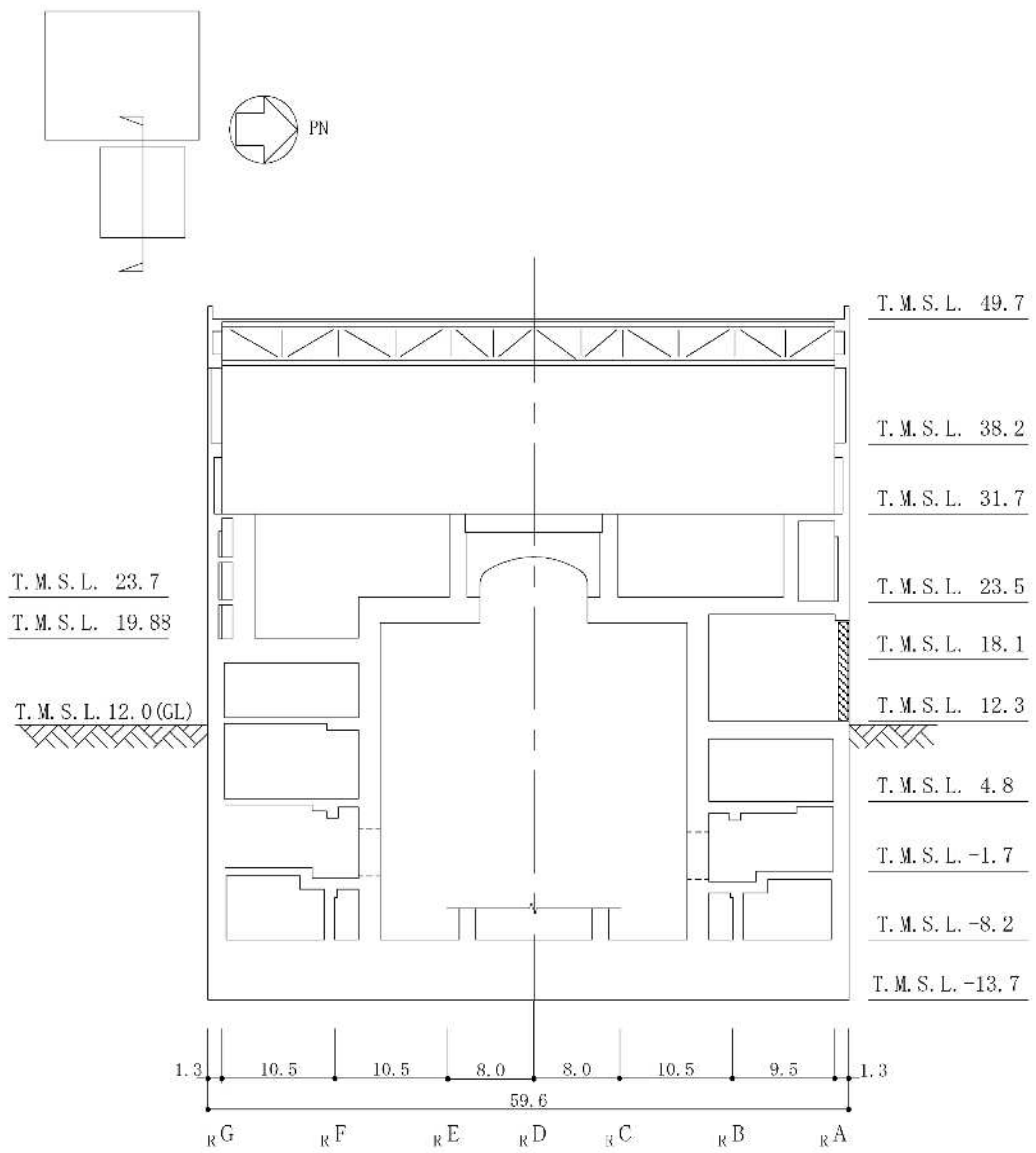


図 2-1 MS トンネル室 BOP の設置位置平面図 (単位 : m) (2/2)
(T. M. S. L. 18. 1m)




 MS トンネル室 BOP

図 2-2 MS トンネル室 BOP の設置位置断面図 (単位 : m)
(EW 方向)

2.2 構造概要

MSトンネル室BOPは、設計差圧（9.81kN/m²）により開放するラブチャーパネル及びラブチャーパネルをMSトンネル室壁面内に設置するための枠部より構成される設備である。

MSトンネル室BOPの構造計画を表2-1及び表2-2に示す。

表 2-1 MS トンネル室 BOP の構造計画 (ラプチャーパネル)

計画の概要	
主体構造	支持構造
<p>・ラプチャーパネル</p> <p>MS トンネル室 BOP は、ラプチャーパネル及びラプチャーパネルを MS トンネル室壁面内に設置するための取付け枠より構成される設備である。</p>	<p>MS トンネル室 BOP のうちラプチャーパネルは、十分な強度を有する構造とし、取付け枠を介して枠部にボルトにより据付けられている。</p>
材料	A1050P
作動方式	ラプチャーパネル式 (79 箇所)
概略構造図 (単位 : m)	

K7 ① V-2-9-3-1-2 R0

表 2-2 MS トンネル室 BOP の構造計画 (枠部)

計画の概要	
主体構造	支持構造
<p>・ 枠部</p> <p>MS トンネル室 BOP は、ラプチャーパネルを MS トンネル室壁面内に設置するための枠部より構成される。</p>	<p>MS トンネル室 BOP のうち枠部は、十分な強度を有する構造とし、MS トンネル室壁面に支持される。</p>
材料	SS400
概略構造図 (単位 : m)	
<p>ハッチング はラプチャーパネル取付範囲を示す。 ハッチング は鋼板取付範囲を示す。 特記なき部材は以下のとおり 水平材 : B3 鉛直材 : P1 斜材 : L 鋼板 : PL</p>	

K7 ① V-2-9-3-1-2 R0

2.3 評価方針

MSトンネル室BOPの地震時の構造強度及び機能維持評価は、V-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちV-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、以下の評価方針とする。

MSトンネル室BOPの評価フローを図2-3に示す。

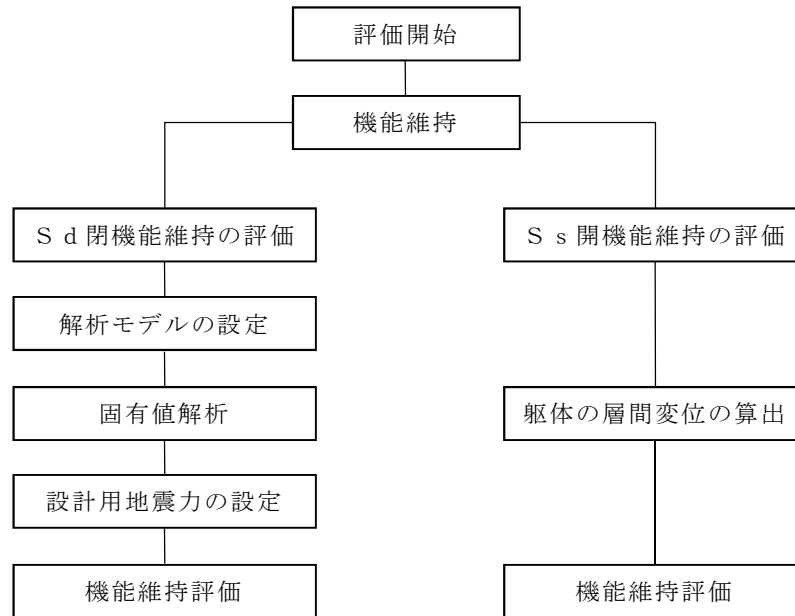


図 2-3 MS トンネル室 BOP の評価フロー

2.3.1 S d 閉機能維持

弾性設計用地震動 S d による地震力に対して MS トンネル室 BOP が開放しないこと（以下「S d 閉機能維持」という。）を確認する。具体的には、弾性設計用地震動 S d による地震荷重が、MS トンネル室 BOP の設計開放荷重（5.89kN/m²）を下回ることを確認する。

2.3.2 S s 開機能維持

基準地震動 S s による地震力に対し開放機能が維持できる構造強度を有していること（以下「S s 開機能維持」という。）を確認する。具体的には、基準地震動 S s による地震力に対して、設置箇所における原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の層間変位が、取付けボルトと枠部の取付け孔の間隙より小さいことを確認することにより、ラブチャーパネルには支持躯体の変形に伴う地震時応力が生じず、ラブチャーパネルが開放機能を維持できていることを確認する。

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。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005制定)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005改定)
- ・ 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)
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)

3. S d 閉機能維持評価

MS トンネル室 BOP のラプチャーパネルに作用する弾性設計用地震動 S d による地震力が、設計開放荷重 (5.89kN/m²) を下回ることを確認する。

3.1 モックアップ試験による確認

MS トンネル室 BOP が弾性設計用地震動 S d に対して開放しないことを確認するため、V-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうち、V-1-1-7-別添 4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に示すように加振試験を実施している。加振試験結果を表 3-1 に示す。加振試験結果の最大値は kN/m² であり、設計開放荷重 (5.89kN/m²) を下回ることから、弾性設計用地震動 S d では開放しない。

表 3-1 加振試験結果

試験体	測定値 (kN/m ²)	設計開放荷重 (kN/m ²)	判定
試験体 1	<input type="text"/>	5.89	○
試験体 2	<input type="text"/>		○
試験体 3	<input type="text"/>		○

3.2 地震応答解析による確認

3.2.1 固有周期の算定

MS トンネル室 BOP の固有値解析方法を以下に示す。固有周期は、枠部をモデル化した有限要素法（以下「FEM」という。）による固有値解析にて求める。

固有値解析に用いる FEM 解析モデルの概要を図 3-1 に、材料及び部材の諸元を表 3-2 に、部材の配置を図 3-2 に示す。

MS トンネル室 BOP 枠部は、ラプチャーパネルを支持する鉄骨部材とラプチャーパネル以外の鋼板をモデル化する。各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮した梁要素としてモデル化し、鋼板はシェル要素でモデル化する。なお、ラプチャーパネルについては、重量及び剛性は軽微であるため、斜材については、枠部全体の振動性状に与える影響は軽微であるためモデル化していない。

MS トンネル室壁面に支持されている外周部節点は、並進成分（水平並びに鉛直）を固定とする。また、各部材の接合部はフランジを接合していないことから、部材端部はピン接合とする。柱・梁部材は、原子炉建屋側のフランジ外面が同一平面上にあり、鋼板は原子炉建屋側のフランジ面に設置されているため、モデル化にあたっては、柱・梁部材及び鋼板の偏心をオフセットとして考慮する。

解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

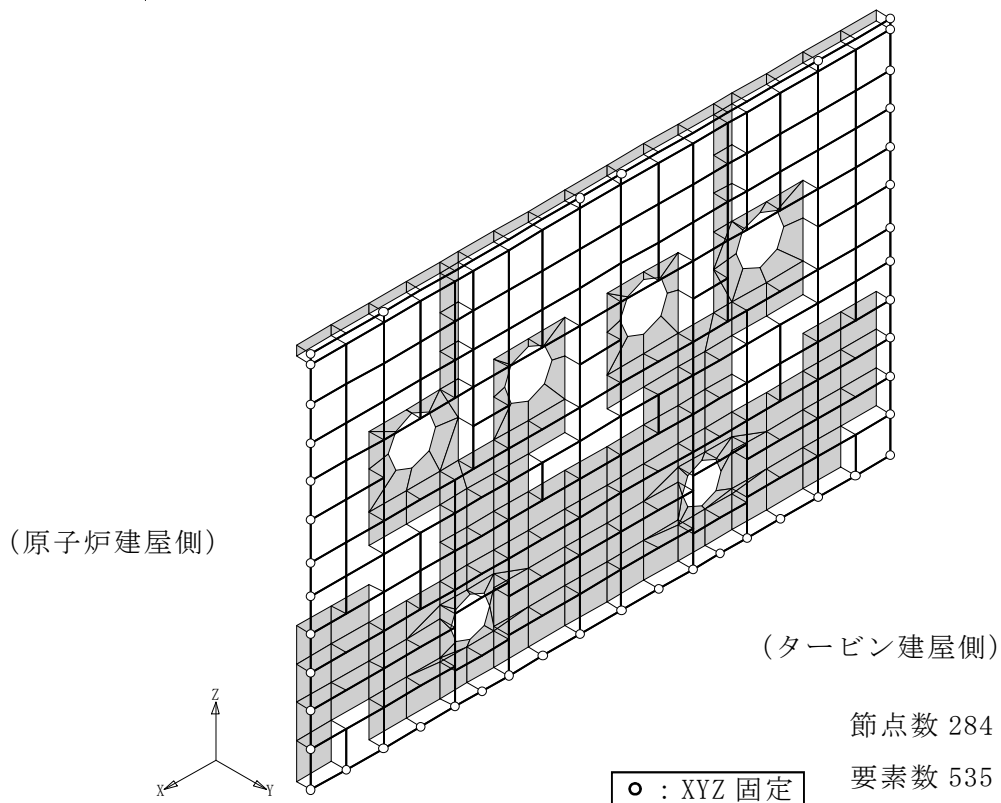


図 3-1 FEM 解析モデル

表 3-2 材料及び部材の諸元

(a) 材料定数

項目	値
ヤング係数	205000 N/mm ²
せん断弾性係数	79000 N/mm ²

(b) 使用部材

部材	使用部材
C1/B1	[-380×100×10.5×16
C2	H-700×300×13×24
B2	H-300×300×10×15
C3	H-300×150×6.5×9
B3/P1	H-200×100×5.5×8
L	L-75×75×6
PL	PL-9

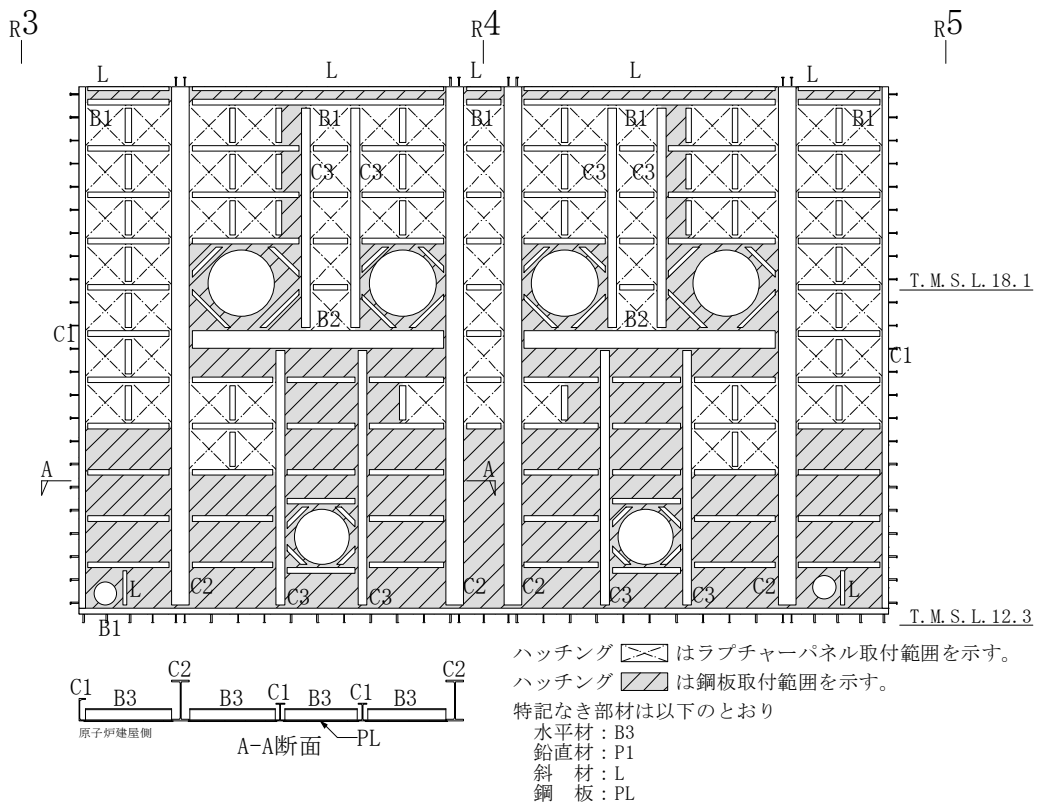


図 3-2 部材の配置 (単位:m)

固有値解析結果を表 3-3 に、固有モードを図 3-3 に示す。MS トンネル室 BOP の閉機能維持評価に係る面外方向（EW 方向）の 1 次固有周期は 秒 (Hz) であり、20Hz を下回ることを確認した。なお、面内方向（NS 方向）及び鉛直方向については、20Hz 以上であり、十分な剛性を有していることを確認した。

表 3-3 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X 方向 (NS 方向)	Y 方向 (EW 方向)	Z 方向 (鉛直)
1 次	水平	<input type="text"/>	—	1.626	—
2 次	水平	0.052	—	0.005	—

注記*：モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

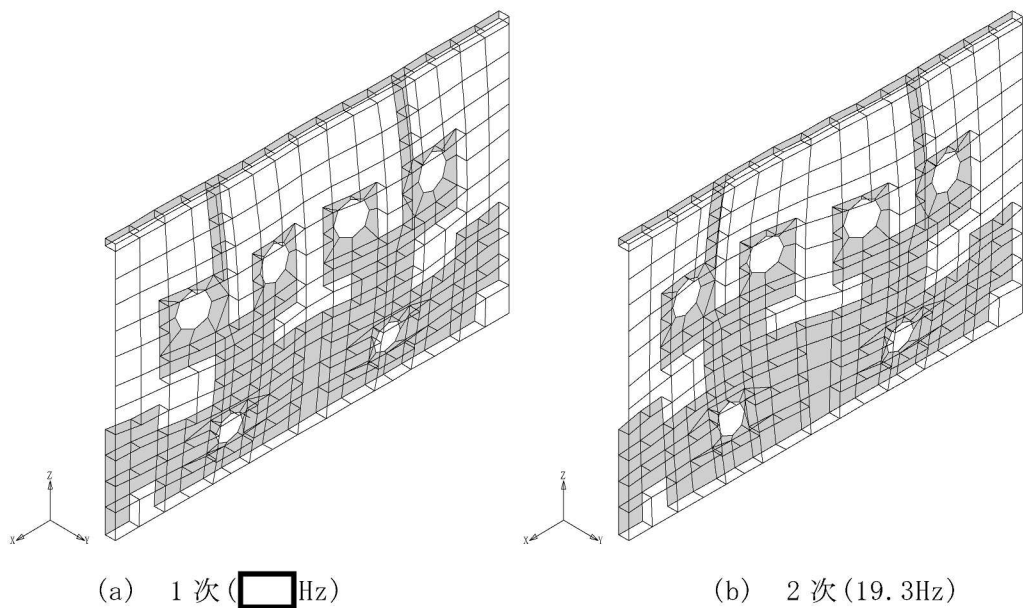


図 3-3 MS トンネル室 BOP の固有モード

3.2.2 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 3-4 に示す。

「弾性設計用地震動 S d」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。「静的震度」による地震力は、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」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 2%（鉄骨）を用いる。なお、評価に用いる震度は、保守的な評価とするため MS トンネル室 BOP 設置階の上階（T. M. S. L. 23.5m）の値とする。

なお、ラプチャーパネルは、枠部に作用する鉛直震度により応力が発生しない機構であるため、鉛直震度に対する S d 閉機能維持評価は行わない。

表 3-4 設計用地震力（設計基準対象施設，重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T. M. S. L. 23.5					
固有周期(s)		NS 方向：0.05 以下 EW 方向： <input type="text"/> *1 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		NS 方向：— EW 方向：2.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d または静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2	応答水平震度		応答鉛直震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	<input type="text"/>	—	0.59	—	—	—	—
2 次	0.052	—	0.59	—	—	—	—
3 次	0.037	—	—	—	—	—	—
動的地震力*3		—	0.54	0.46	—	—	—
静的地震力*4		—	0.51	0.24	—	—	—

注記*1：1 次固有周期について記載。

*2：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S d）より得られる震度を示す。

*3：弾性設計用地震動 S d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度（1.0ZPA）を示す。

*4：静的震度（ $3.0 \cdot C_i$ 及び $1.0 \cdot C_v$ ）を示す。

3.2.3 評価方法

(1) 地震荷重

地震荷重は、弾性設計用地震動 S_d に基づくスペクトルモーダル解析より求めた水平震度を用いて次式より算定する。

$$F_H = W \cdot C_H \cdot g$$

F_H : 地震荷重 (N/m²)

W : ラプチャーディスクの重量 (=0.54kg/m²)

C_H : 水平震度 (=0.96)

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

3.2.4 評価結果

MS トンネル室 BOP の地震荷重と開放荷重を比較した評価結果を表 3-5 に示す。

MS トンネル室 BOP は、弾性設計用地震動 S_d による地震力に対して開放せず、閉機能を維持できることを確認した。

表 3-5 評価結果

地震荷重 (kN/m ²)	設計開放荷重 (kN/m ²)	判定
0.00509	5.89	○

4. S s 開機能維持評価

4.1 取付け状況

ラプチャーパネルは、取付け枠を介して枠部にボルトで取付けられている。各部の孔径とボルト径の関係を図 4-1 に示す。取付けボルトは M12、枠部の孔は約 $\phi 14\text{mm}$ 、取付け枠の孔は約 $\phi 15\text{mm}$ であり、ボルトが孔の中心に取付けられている場合は、取付け枠孔と枠部孔とは約 2.5mm の層間変位に追従可能な間隙がある。

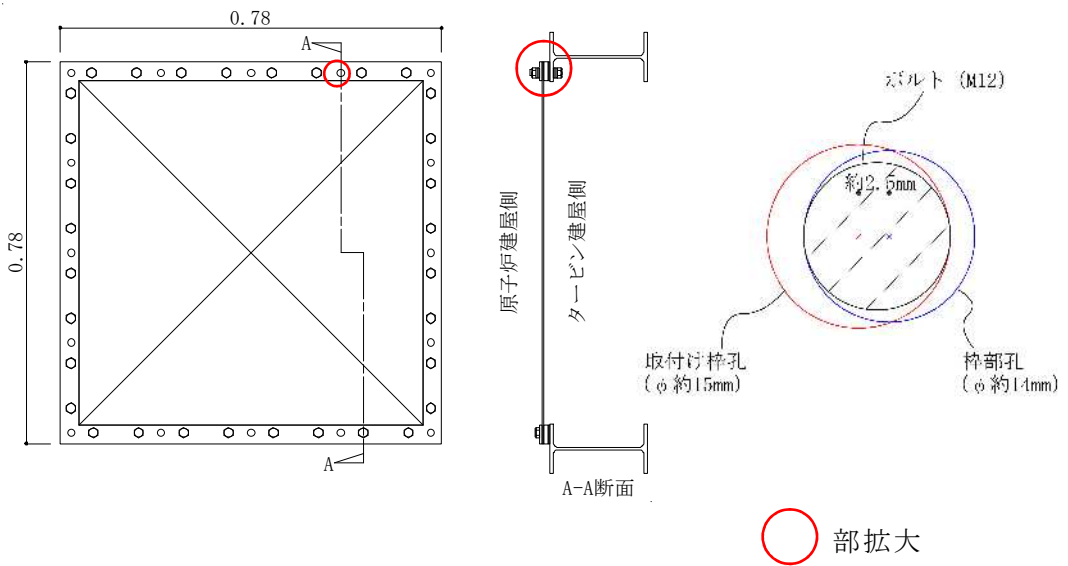


図 4-1 孔径とボルト径の関係

4.2 層間変位の算定

地震時の層間変位について図 4-2 に示す。層間変位は、V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」にて設定しているせん断ひずみの最大値を層間変形角として、以下の式により算定する。

$$\delta = h \cdot \theta$$

h : パネル本体の高さ (=780mm)

θ : 最大せん断ひずみ* (=0.437×10⁻³rad)

注記* : 材料物性の不確かさを考慮したT. M. S. L. 12.3m~T. M. S. L. 23.5mのNS方向の最大値。

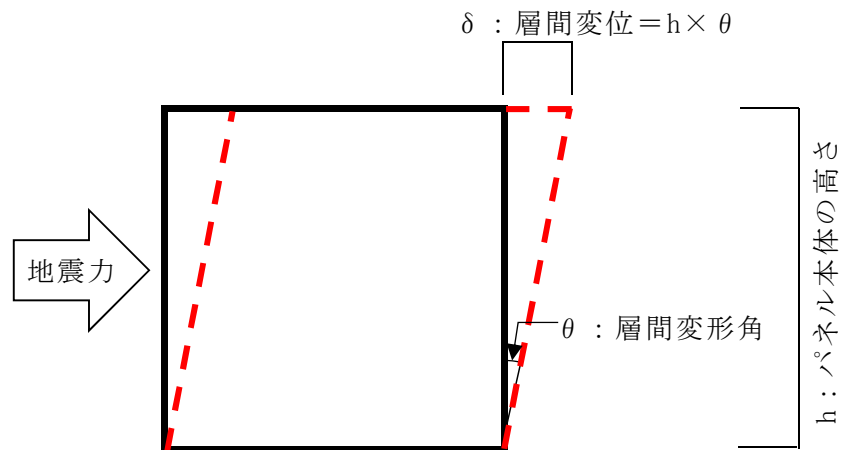


図 4-2 層間変位

4.3 評価結果

評価結果を表 4-1 に示す。取付け枠の層間変位は 0.34mm であり、取付け枠孔と枠部孔とは約 2.5mm の間隙があることから変形に対し追従できる。以上のことから、MS トンネル室 BOP は、基準地震動 S_s を受けたとしても開放機能に影響はないことを確認した。

表 4-1 評価結果

層間変位 (mm)	間隙 (mm)	判定
0.34	約 2.5	○