

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-009-16改01
提出年月日	2023年3月2日

VI-2-9-3-1-2 原子炉建物主蒸気管トンネル室

ブローアウトパネルの耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-9-3-1-2 R0

2023年3月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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 閉機能維持	9
2.3.2 開機能維持	9
2.4 適用規格・基準等	10
3. 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	20
3.2.3 評価方法	21
3.2.4 評価結果	21
4. 開機能維持評価	22
4.1 取付け状況	22
4.2 層間変位の算定	23
4.3 評価結果	24

1. 概要

本計算書は、VI-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VI-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、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）主蒸気管トンネル室（以下「MS トンネル室」という。）のタービン建物側等、二次格納施設境界壁に設置されている主蒸気管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 及び基準地震動 S_s 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。

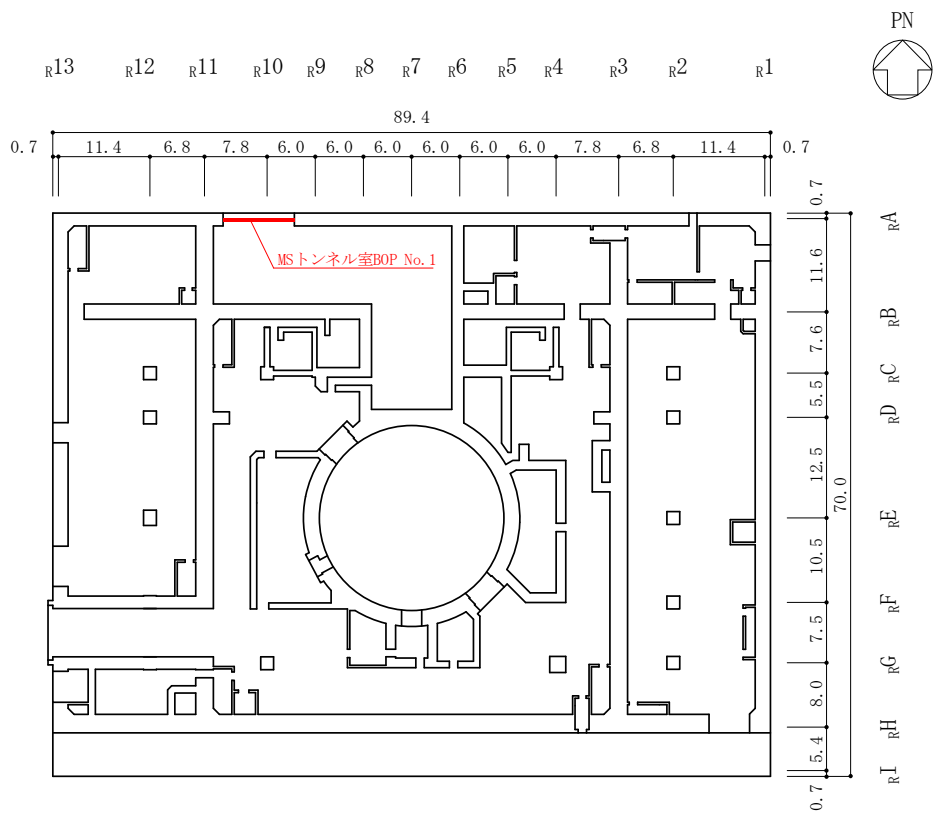
MS トンネル室 BOP は、設計基準対象施設において S クラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。

2. 一般事項

2.1 配置概要

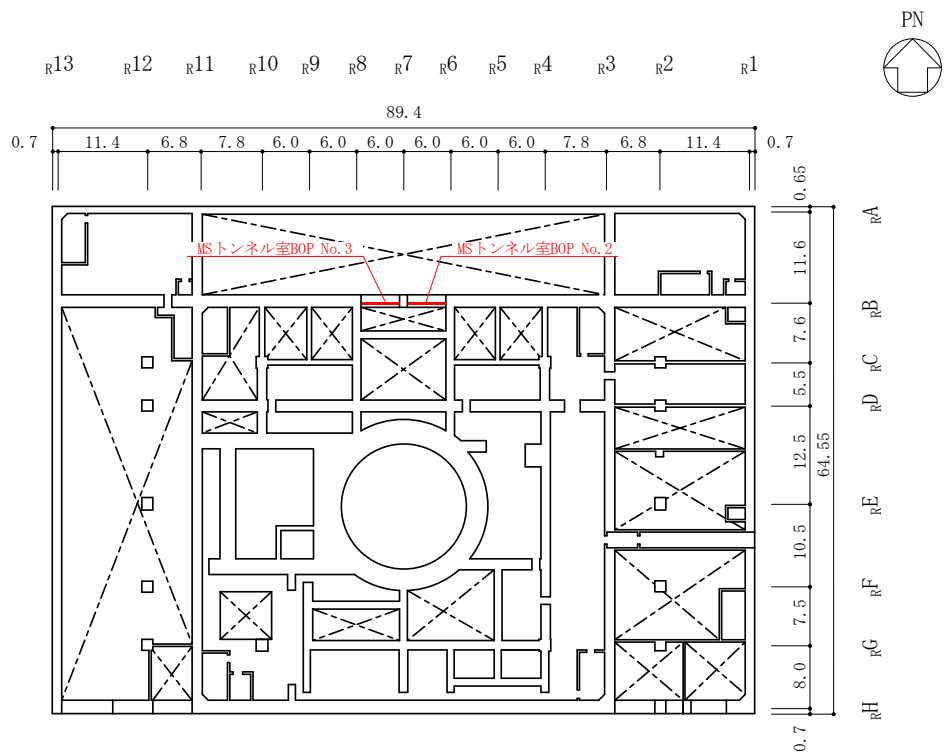
MS トンネル室 BOP は、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の MS トンネル室タービン建物側開口部 (EL 15.3m～23.8m) の 1 箇所及び原子炉建物二次格納施設境界 (EL 23.8m～34.8m) の 2 箇所に計 3 箇所に配置されている。

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。



(単位:m)

図 2-1(1) MS トンネル室 BOP の設置位置平面図 (EL 15.3m)



(単位:m)

図 2-1(2) MS トンネル室 BOP の設置位置平面図 (EL 30.5m)

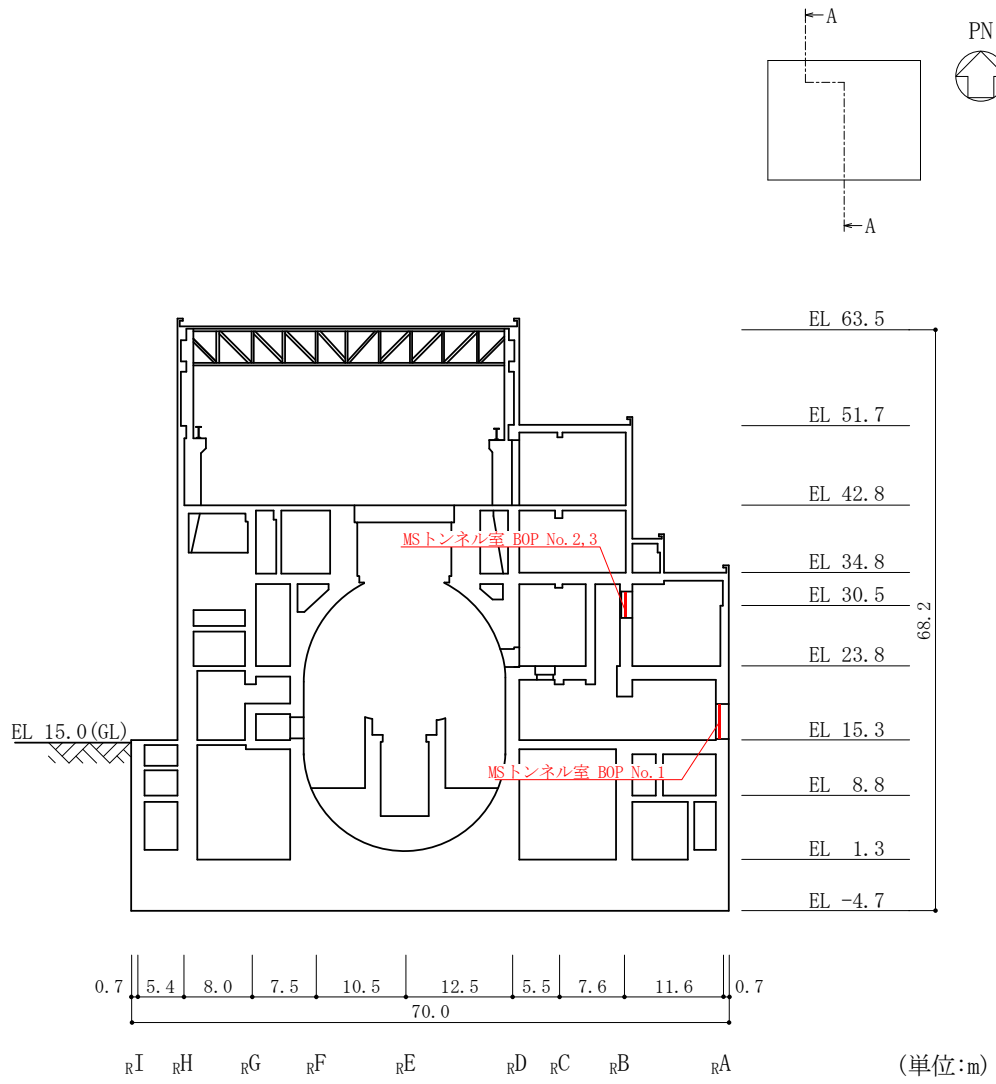


図 2-2 MS トンネル室 BOP の設置位置断面図 (A-A 断面)

2.2 構造概要

MS トンネル室 BOP は、差圧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	
支持構造	主体構造
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。	<ul style="list-style-type: none"> ラプチャーパネル 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。
材料	A1050P
作動方式	ラプチャーパネル式
概略構造図 (単位 : m)	

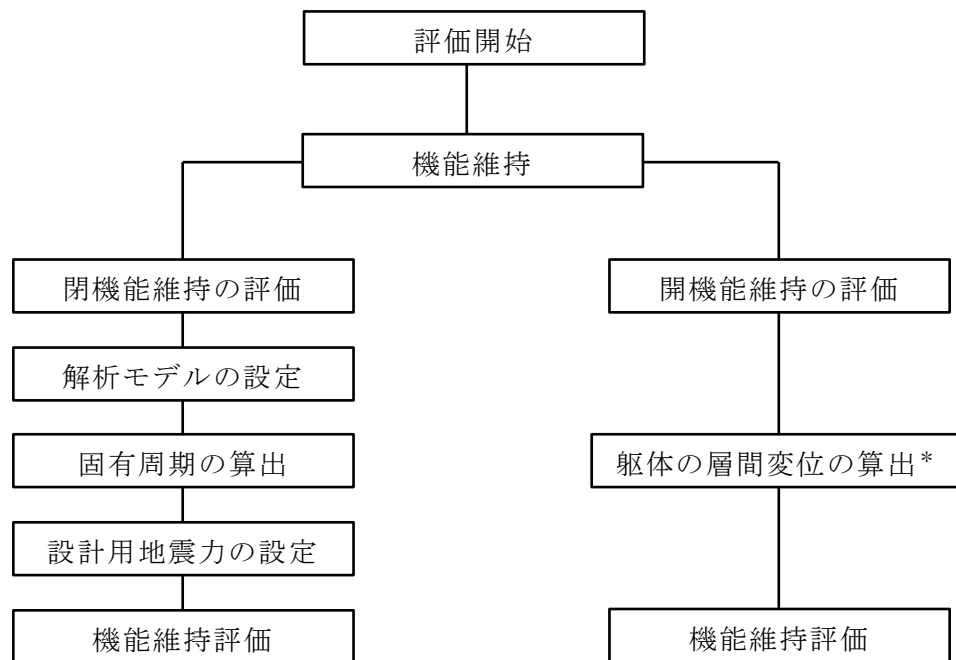
表 2-2 MS トンネル室 BOP の構造計画 (枠部)

計画の概要	
支持構造	主体構造
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。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 枠部 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。
材料	SS400
概略構造図 (単位 : m)	
<p>特記なき部材は以下のとおり 水平材 : b1 鉛直材 : P1 斜材 : L1 鋼板 : PL</p> <p>(a) MSトンネル室BOP No. 1</p>	
<p>特記なき部材は以下のとおり 水平材 : B1 鉛直材 : P1</p> <p>(b) MSトンネル室BOP No. 2</p>	
<p>特記なき部材は以下のとおり 水平材 : B3 鉛直材 : P1</p> <p>(c) MSトンネル室BOP No. 3</p>	
<p>注記: 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。</p>	

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、VI-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VI-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。



注記*：VI-2-2-3「原子炉建物の耐震性についての計算書」に示す耐震壁のせん断ひずみの最大値により算出

図 2-3 MS トンネル室 BOP の評価フロー

2.3.1 閉機能維持

弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s 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「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 及び基準地震動 S_s による地震荷重が、MS トンネル室 BOP の開放荷重（ 7.36kN/m^2 ）を下回ることを確認する。

2.3.2 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「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物原子炉棟（二次格納施設）躯体の層間変位が、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、ラプ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、ラプ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 ―許容応力度設計法― （（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 ―許容応力度設計法― （（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）

3. 閉機能維持評価

MS トンネル室 BOP のラブチャーパネルに作用する弾性設計用地震動 S d 及び基準地震動 S s による地震力が，設計開放荷重（7.36kN/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 及び基準地震動 S s に対して開放しないことを確認するため，VI-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，VI-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（7.36kN/m²）を下回ることから，弾性設計用地震動 S d 及び基準地震動 S s 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)	設計用開放荷重 (kN/m ²)	判定
試験体1	<input type="text"/>	7.36	○
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 及び表 3-3 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はり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、一部の斜材及び水平材については、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接点は、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・はり部材は、原子炉建物側のフランジ外面が同一平面上にあり、鋼板は原子炉建物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・はり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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

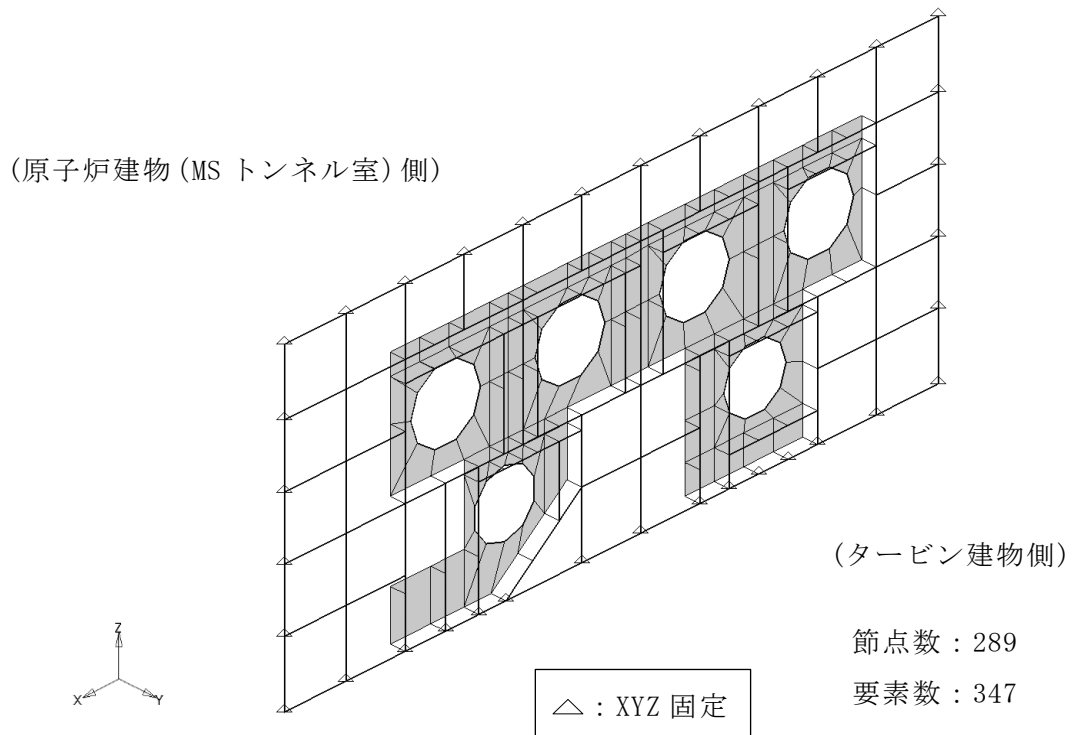


図 3-1(1) FEM 解析モデル (MS トンネル室 BOP No. 1)

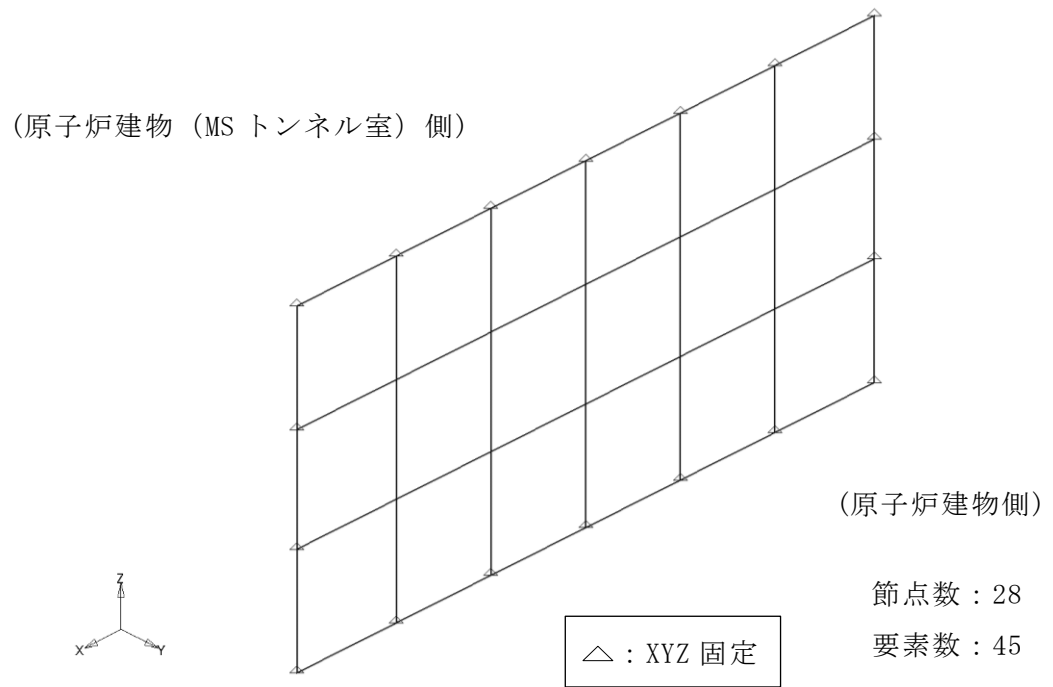


図 3-1 (2) FEM 解析モデル (MS トンネル室 BOP No. 2)

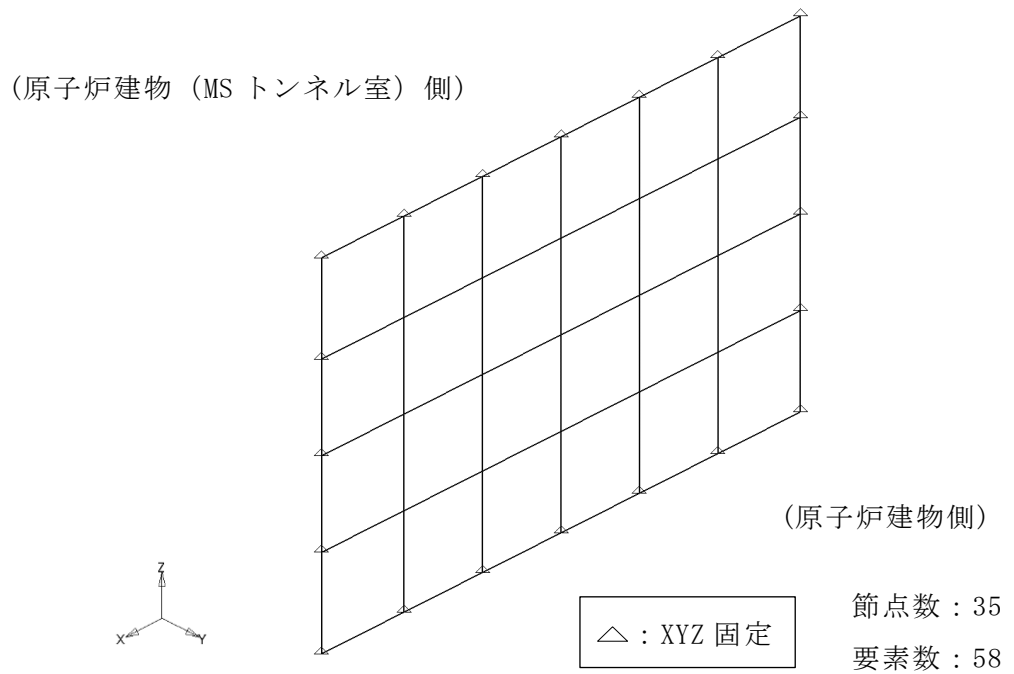


図 3-1 (3) FEM 解析モデル (MS トンネル室 BOP No. 3)

表 3-2 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

表 3-3(1) 使用部材 (MS トンネル室 BOP No. 1)

部材	使用部材
C1	BH-400×100×9×19
B1/C2	BH-300×100×6×9
B2/C3	L-300×90×11×16
b1/P1	CT-100×100×5.5×8
B3/P2	H-200×100×5.5×8
PL	PL-9

表 3-3(2) 使用部材 (MS トンネル室 BOP No. 2)

部材	使用部材
C1/B2	L-250×90×10×15
B1	H-250×125×6×9
P1	CT-100×100×5.5×8

表 3-3(3) 使用部材 (MS トンネル室 BOP No. 3)

部材	使用部材
C1/B2	L-250×90×10×15
B3	BH-300×100×6×9
P1	CT-100×100×5.5×8

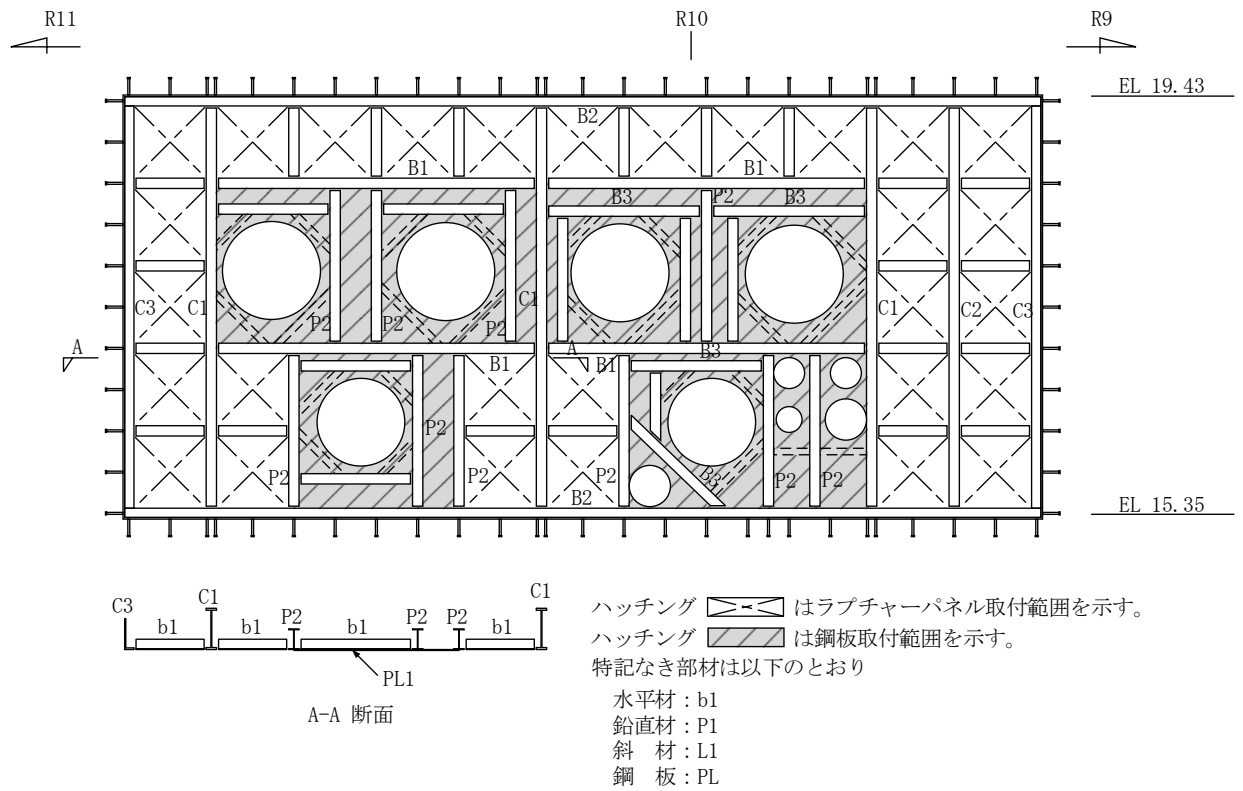


図 3-2(1) 部材の配置 (MS トンネル室 BOP No. 1) (単位：m)

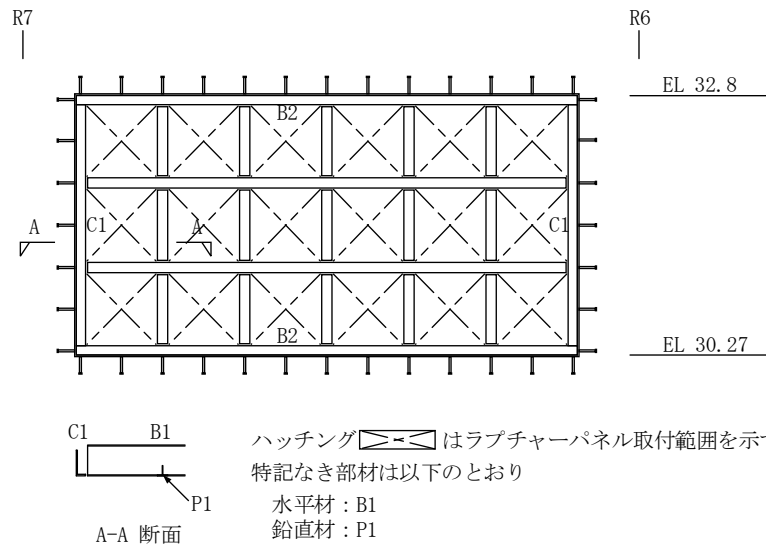


図 3-2(2) 部材の配置 (MS トンネル室 BOP No. 2) (単位：m)

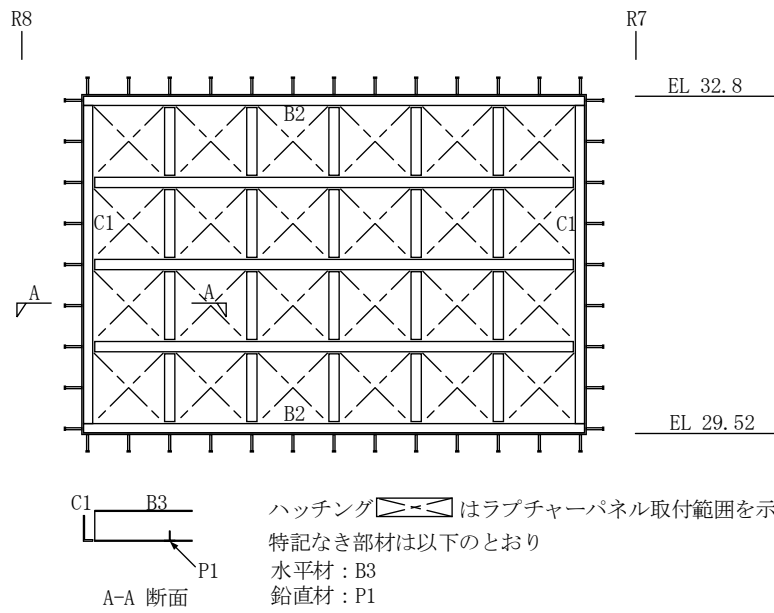


図 3-2(3) 部材の配置 (MS トンネル室 BOP No. 3) (単位：m)

固有周期の算出結果を表 3-4 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 (NS 方向) の 1 次固有周期は No.1 [] 秒 ([] Hz) , No.2 [] 秒 ([] Hz) , No.3 [] 秒 ([] Hz) であり、20Hz を上回ることを確認した。また、ラプチャーパネルは加振試験においてラプチャーパネル中央で計測した面外方向 (NS 方向) の 1 次固有周期は 3 体の試験体についてそれぞれ試験体 1 [] 秒 ([] Hz) , 試験体 2 [] 秒 ([] Hz) , 試験体 3 [] 秒 ([] Hz) であり、20Hz を下回ることを確認している。

なお、面内方向 (EW 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 3-4 固有値解析結果

(a) MS トンネル室 BOP No. 1

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X 方向 (EW 方向)	Y 方向 (NS 方向)	Z 方向 (鉛直)
1 次	水平	[]	—	1.630	—
2 次	水平	[]	—	0.270	—

(b) MS トンネル室 BOP No. 2

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X 方向 (EW 方向)	Y 方向 (NS 方向)	Z 方向 (鉛直)
1 次	水平	[]	—	1.479	—
2 次	水平	[]	—	0.791	—

(c) MS トンネル室 BOP No. 3

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X 方向 (EW 方向)	Y 方向 (NS 方向)	Z 方向 (鉛直)
1 次	水平	[]	—	1.447	—
2 次	水平	[]	—	0.333	—

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。

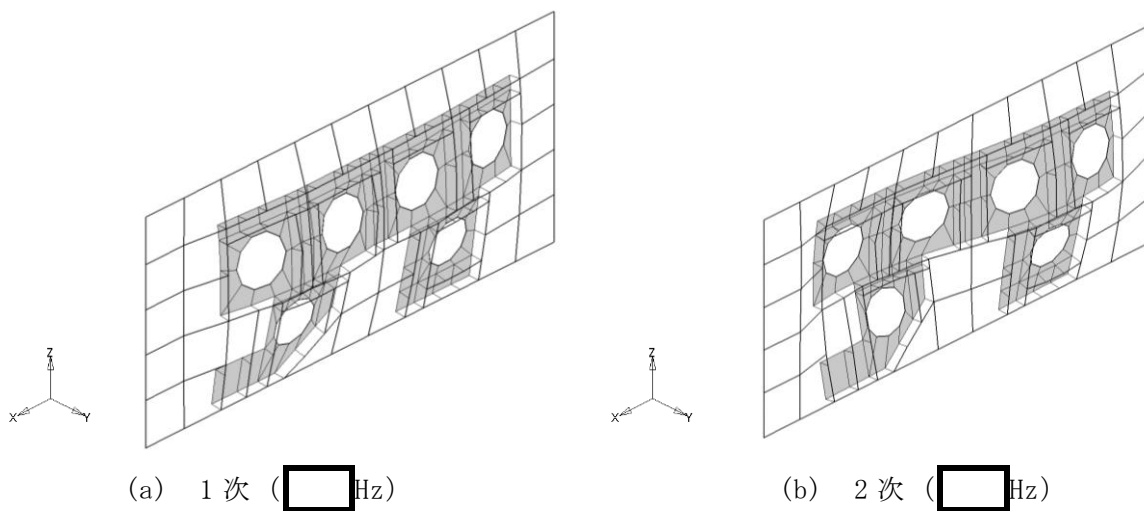


図 3-3(1) 固有モード (MS トンネル室 BOP No. 1)

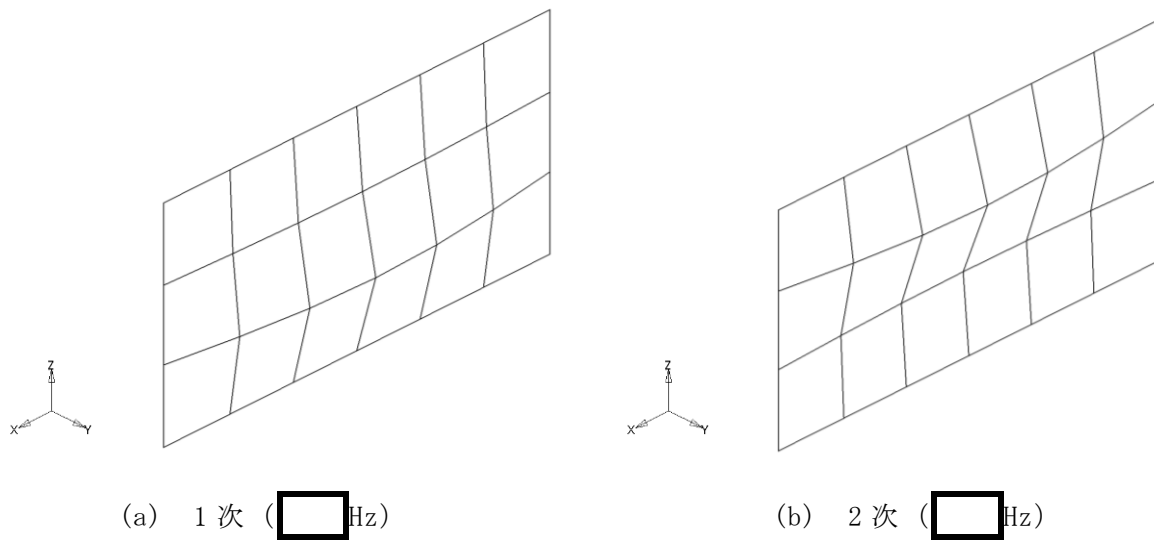


図 3-3(2) 固有モード (MS トンネル室 BOP No. 2)

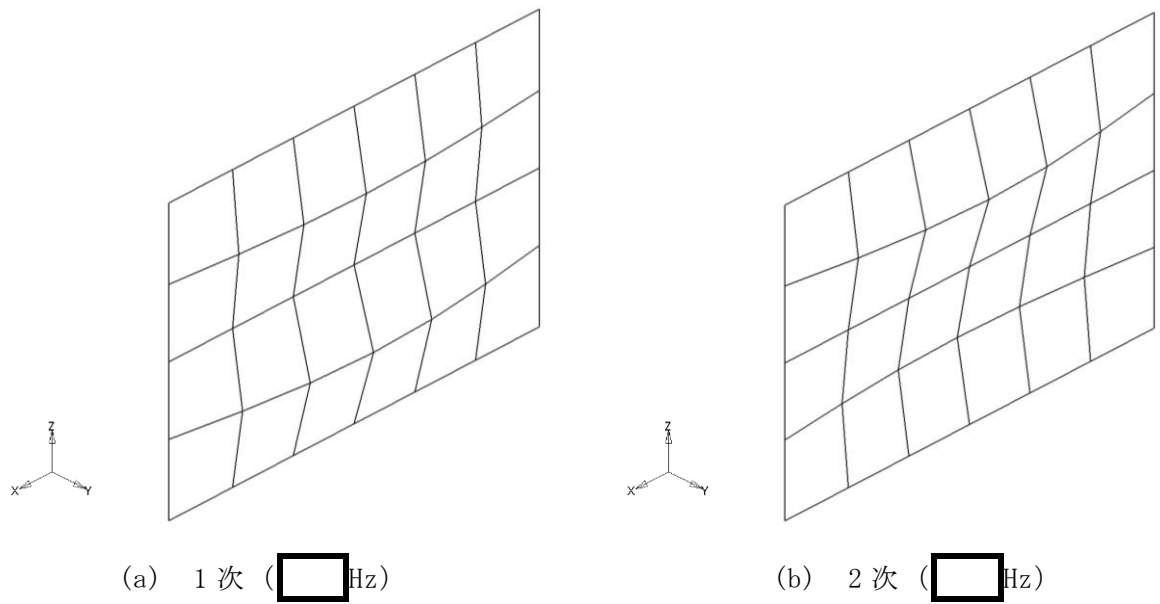


図 3-3(3) 固有モード (MS トンネル室 BOP No. 3)

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 3-5 に示す。

設計用地震力は、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。評価に用いる震度は、保守的な評価とするためそれぞれの MS トンネル室 BOP 設置上下階 (No.1 EL 15.3m~EL 23.8m, No.2 及び No.3 EL 23.8m~EL 34.8m) のうち最大となる値とする。また、ラプチャーパネルは枠部にボルト接合されるが、ラプチャーパネル自体が薄いアルミニウム板の単一材料であることから、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数 1% (溶接構造物) を用いる。

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、鉛直震度に対する閉機能維持評価は行わない。

表 3-5 設計用地震力 (設計基準対象施設, 重大事故対処設備)

据付場所及び 床面高さ (m)		原子炉建物 EL 15.3~EL 34.8					
固有周期 (s)		NS方向 : <input type="text"/> *1		EW方向 : 0.05以下		鉛直 : 0.05以下	
減衰定数 (%)		NS方向 : 1.0		EW方向 : —		UD方向 : —	
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期 (s)	水平震度		鉛直 震度	水平震度		鉛直 震度
		NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	
1次	<input type="text"/> *1	—*2	—	—	25.0*3	—	—
動的地震力*4		1.06	—	—	1.17	—	—
静的地震力*5		0.78	—	—	—	—	—

注記*1 : ラプチャーパネル試験体 2 の 1 次固有周期について記載。

*2 : 基準地震動 S_s に基づく水平震度で代表する。

*3 : 設計用床応答スペクトル (S_s) より得られる水平震度に保守性を考慮して設定した震度

*4 : 設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

*5 : 静的震度 (3.0・C_i) を示す。

3.2.3 評価方法

(1) 地震荷重

基準地震動 S_s に基づく設計用最大応答加速度より定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/m^2)

W : ラプチャーパネルの質量 ($=0.54 \text{ kg}/m^2$)

C_H : 水平震度 ($=25.0$)

g : 重力加速度 ($=9.80665m/s^2$)

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 3-6 に示す。

MS トンネル室 BOP は、基準地震動 S_s 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 3-6 評価結果

設備名称	地震荷重(S_s) (kN/m^2)	設計開放荷重 (kN/m^2)	判定
MS トンネル室 BOP	0.133	7.36	○

4. 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 $\phi 12.5\text{mm}$ 、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 1.75mm の層間変位に追従可能な間隙がある。

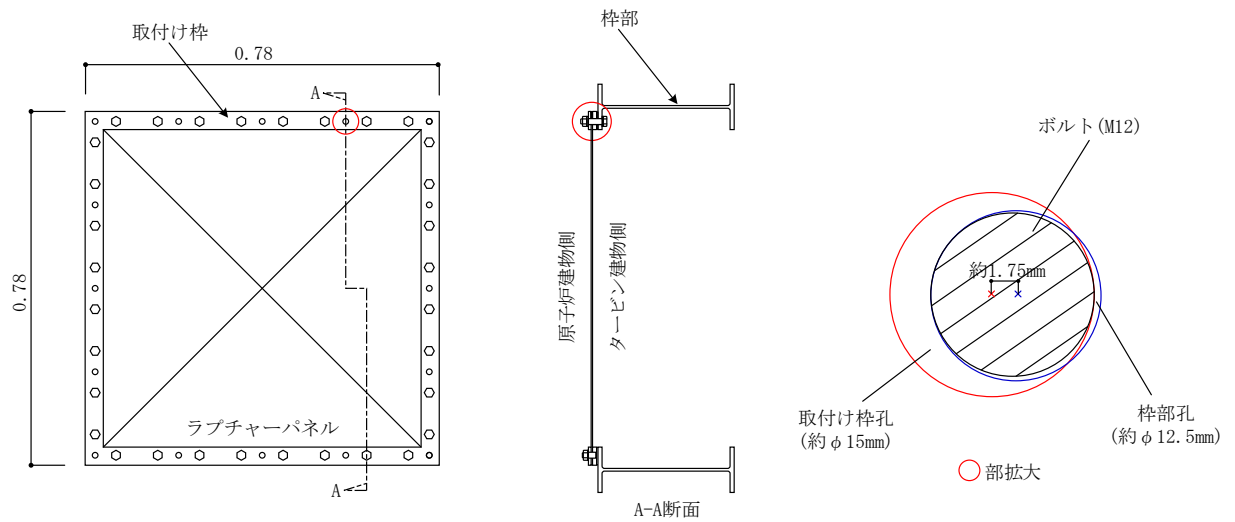


図 4-1 孔径とボルト径の関係

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，VI-2-2-3「原子炉建物の耐震性についての計算書」にて算出している耐震壁の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* (0.50×10^{-3} rad)

注記* : 材料物性の不確かさを考慮した設置階 (EL 15.3m~EL 34.8m) の EW 方向の最大値。

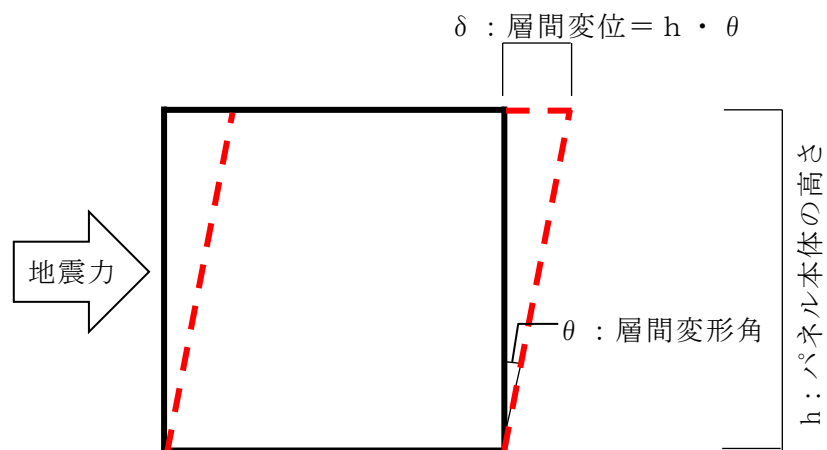


図 4-2 層間変位

4.3 評価結果

評価結果を表 4-1 に示す。躯体の層間変位は最大で 0.39mm であり，取付け枠孔と枠部孔とは約 1.75mm 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

設備名称	層間変位 (S_s) (mm)	間隙 (mm)	判定
MS トンネル室 BOP	0.39	約 1.75	○