

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0068_改2
提出年月日	2021年8月2日

VI-2-9-3-1-1 原子炉建屋ブローアウトパネルの耐震性
についての計算書

2021年 8月
東北電力株式会社

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	3
2.3	評価方針	5
2.3.1	S d 閉機能維持	5
2.3.2	S s 開機能維持	5
2.4	適用規格・基準等	6
3.	S d 閉機能維持評価	7
3.1	固有周期の確認方法	7
3.1.1	水平方向	7
3.1.2	鉛直方向	7
3.2	固有周期の確認結果	7
3.3	設計用地震力	8
3.4	評価方法	9
3.4.1	地震荷重	9
3.4.2	開放荷重	9
3.5	評価結果	9
4.	S s 開機能維持評価	10
4.1	取付状況	10
4.2	層間変位の算定	11
4.3	評価結果	11

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-1-6 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-1-1-6-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、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）に設置されている原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）が、弾性設計用地震動 S_d による地震荷重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。

原子炉建屋 BOP は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」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」に分類される。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉建屋 BOP の設置位置を図 2-1 に示す。

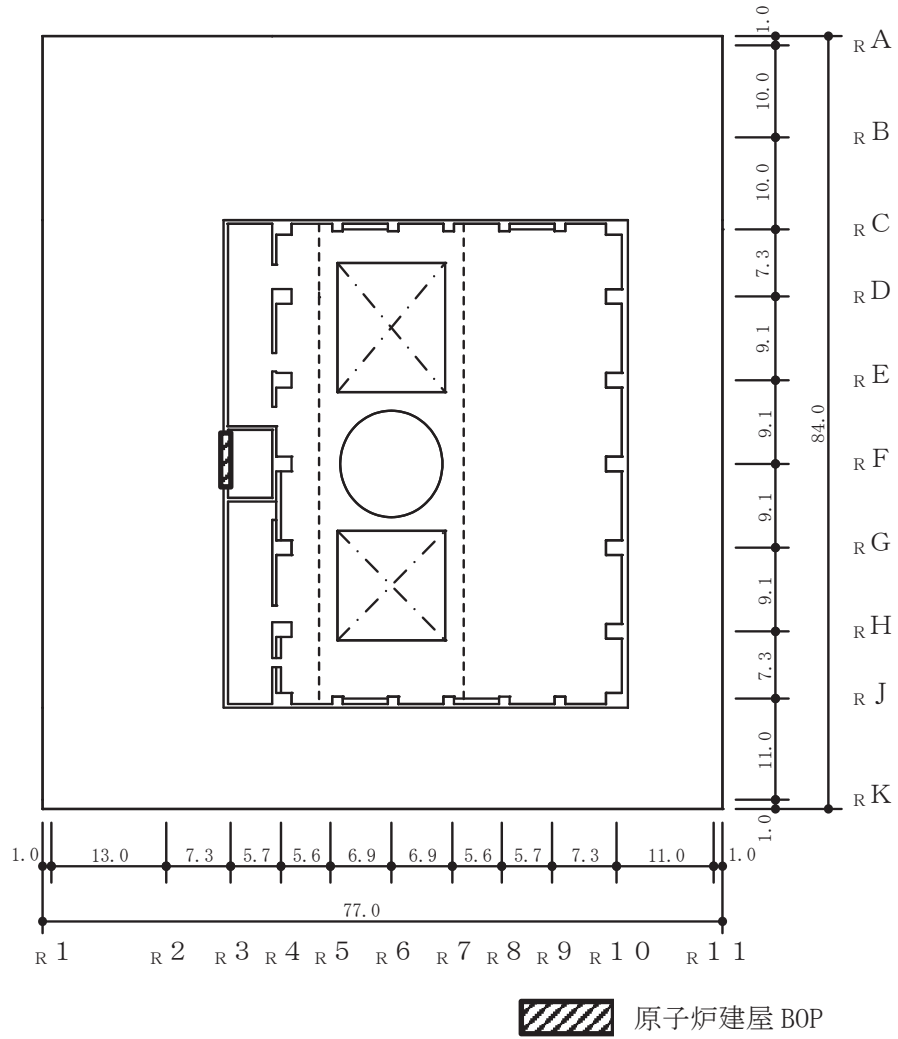


図 2-1 原子炉建屋 BOP の設置位置図 (単位 : m)

(O.P. *33.2m)

注記* : O.P. は女川原子力発電所工事事用基準面であり, 東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m である。

2.2 構造概要

原子炉建屋 BOP は、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の一部（地上 3 階）に配置され、差圧により開放するパネル本体部、パネルを建屋外壁内に設置する枠部及び差圧により変形する止め板より構成される設備である。

原子炉建屋 BOP の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 原子炉建屋 BOP 構造計画

計画の概要	
主体構造	支持構造
<ul style="list-style-type: none"> ・パネル本体部 ・枠部 <p>原子炉建屋 BOP は、パネル本体部、パネルを原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の壁に設置する枠部より構成される設備である。</p>	<p>原子炉建屋 BOP は、十分な強度を有する構造とし、原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の壁に枠と止め板により据付けられる。</p>
材料	SS400
作動方式	止め板式（48 個）
止め板仕様	材質 SS400
概略構造図（単位：m）	
<p>The diagram illustrates the BOP structure with two cross-sections: A-A and B-B. The A-A section shows a vertical assembly with a top flange at O.P. 38.50 and a bottom flange at O.P. 34.30. The main body height is 4.20 m, and the distance between the flanges is 4.10 m. The B-B section shows a horizontal assembly with a main body width of 5.10 m and a total width of 5.20 m. Labels include 'パネル本体部' (main panel body), '止め板' (stop plate), and '枠部' (frame part). Section lines A-A and B-B are indicated with arrows.</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

原子炉建屋 BOP の地震時の構造強度及び機能維持評価は、添付書類「VI-1-1-6 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-1-1-6 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。

原子炉建屋 BOP の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

2.3.1 S d 閉機能維持

弾性設計用地震動 S d による地震力に相当する荷重で原子炉建屋 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、モックアップ試験体の振動試験により固有振動数を計測し、弾性設計用地震動 S d による地震荷重が、原子炉建屋 BOP の開放荷重を下回ることを確認する。なお、パネル本体については、設定圧力に対して健全性を確保する設計としており、弾性設計用地震動 S d による地震荷重が設定圧力以下であるため健全性は確保される。

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、設置個所の原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）躯体の層間変位が、パネル本体と枠部の間隙より小さいことを確認することにより、パネル本体には支持躯体の変形に伴う地震時応力が生じず、パネル本体が開放機能を維持できることを確認する。

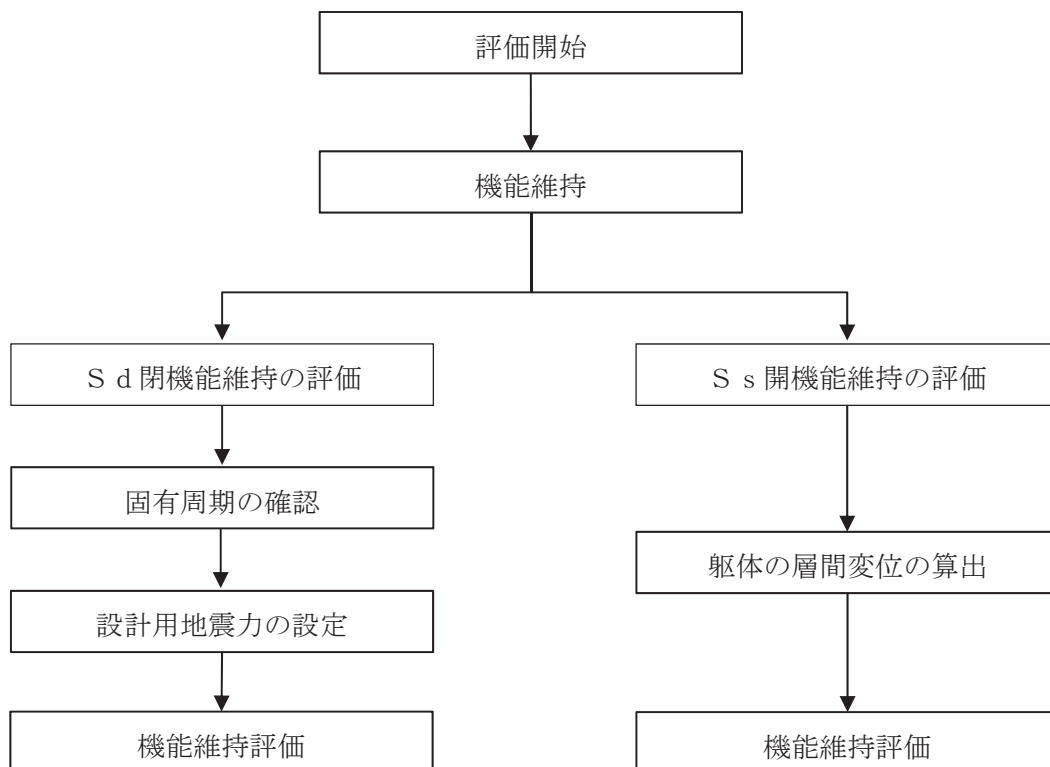


図 2-2 原子炉建屋 BOP の耐震評価フロー

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。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1999 年 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-
- ・ 日本建築学会 2005 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ 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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 （J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 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）

3. S d 閉機能維持評価

3.1 固有周期の確認方法

3.1.1 水平方向

原子炉建屋 BOP の閉機能維持評価に係る面外方向 (NS 方向) について固有周期を確認する。固有周期は、原子炉建屋 BOP 試験体の振動試験にて、インパクトハンマーにより当該試験体に振動を与え、加速度を測定し、測定したパネル本体中央の加速度波形から、高速フーリエ変換により算定したフーリエスペクトルより確認する。

なお、面内方向 (EW 方向) については十分な剛性を有しており閉機能維持評価に影響しないことから、固有周期の確認を省略する。

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有しており閉機能維持評価に影響しないことから、固有周期の確認を省略する。

3.2 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3-1、固有振動数の測定結果を図 3-1 に示す。面外方向 (NS 方向) の固有周期は 秒 (Hz) であり、20Hz を下回ることを確認した。そのため、「3.3 設計用地震力」では、応答増幅を考慮して検討する。

表 3-1 固有周期の確認結果

方向	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
NS 方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>



図 3-1 固有振動数の測定結果

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-2 に示す。

弾性設計用地震動 S d による地震力及び静的震度による地震力は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき設定する。弾性設計用地震動 S d による地震力は、基本ケース及び地盤物性の不確かさを考慮したケースの応答震度を用いることで、地盤物性の不確かさを設計用地震力として考慮する。また、減衰定数は、添付書類「VI-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。評価に用いる震度は、原子炉建屋 BOP 頂部 (O.P. 38.5m) の値とする。

なお、原子炉建屋 BOP を閉止する止め板は、枠部に作用する弾性設計用地震動 S d の鉛直震度により応力が発生しない機構であるため、閉機能維持評価は行わない。

表 3-2 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)		原子炉建屋 O.P. 38.5		
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 : 2.0 EW 方向 : — 鉛直 : —		
地震力		弾性設計用地震動 S d または静的震度		
モード	固有周期*5 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		NS 方向	EW 方向	
1 次	<input type="text"/>	3.39*2	—	—
2 次	0.048	—	—	—
動的地震力*3		1.41	—	0.90
静的地震力*4		1.53	—	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、弾性設計用地震動 S d に基づく加速度応答スペクトルより得られる震度を示す。

*3 : 弾性設計用地震動 S d に基づく最大応答加速度より定めた震度を示す。

*4 : 静的震度 (3.0・C_i 及び 1.0・C_v) を示す。

*5 : 固有周期は原子炉建屋 BOP 試験体の振動試験にて測定した値を示す。

3.4 評価方法

3.4.1 地震荷重

弾性設計用地震動 S d による地震荷重は、「3.3 設計用地震力」で示した水平震度を用いて、次式により算定する。

$$F_H = M \cdot C_H \cdot g$$

F_H : 弾性設計用地震動 S d による地震荷重 (N)

M : 原子炉建屋 BOP の質量 (=1800 kg)

C_H : 水平震度 (=3.39)

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

3.4.2 開放荷重

原子炉建屋 BOP の開放荷重は、添付書類「VI-1-1-6 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-1-1-6-別添 4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に示す実機大モックアップ試験にて得られた開放荷重とする。

3.5 評価結果

原子炉建屋 BOP の弾性設計用地震動 S d による地震荷重と開放荷重を比較した評価結果を表 3-3 に示す。

原子炉建屋 BOP は、弾性設計用地震動 S d による地震荷重に対し、開放しないことを確認した。

表 3-3 評価結果

試験体	開放荷重 (kN)	弾性設計用地震動 S d による地震荷重 (kN)	判定
試験体 1	□	59.9	○
試験体 2	□		○
試験体 3	□		○

4. S s 開機能維持評価

4.1 取付状況

原子炉建屋 BOP は、止め板により枠部に取り付けられている。パネル本体と枠部の取付状況を図 4-1 に示す。パネル本体と枠部とは左右及び上下に 50 mm の間隙がある。

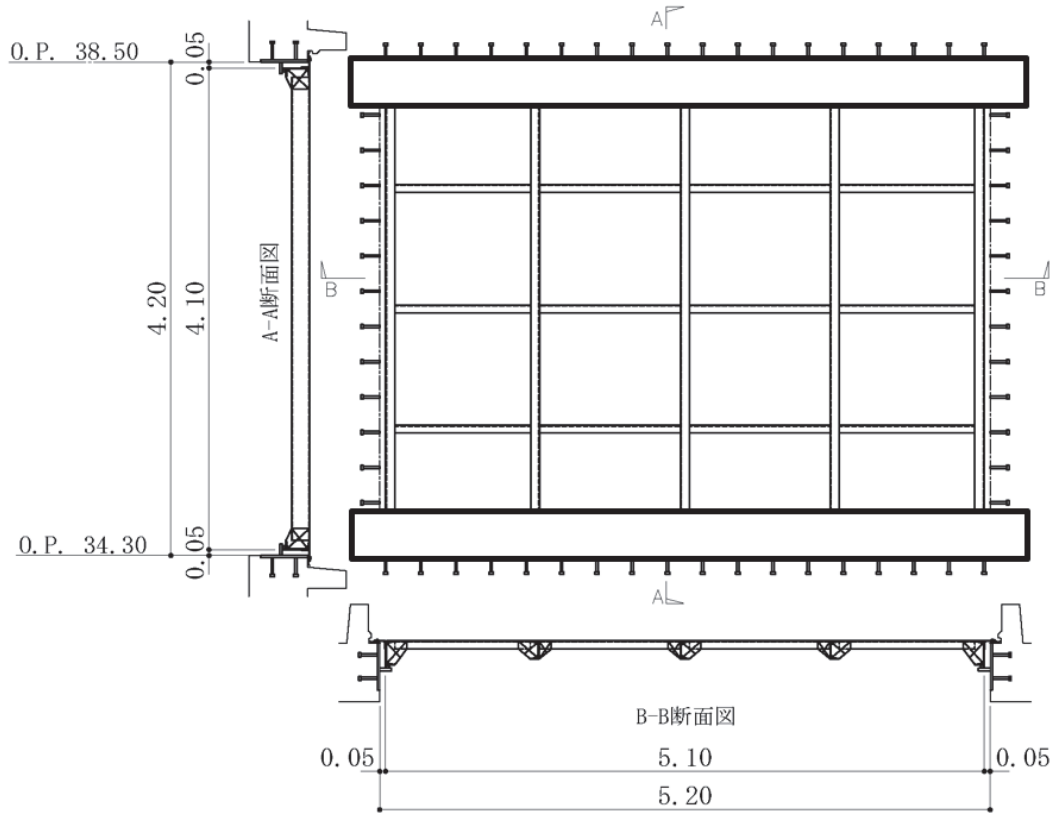


図 4-1 パネル本体と枠部の取付け状況 (単位 : m)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 層間変位の算定

地震時の躯体の層間変位について図 4-2 に示す。層間変位は、添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」にて設定している耐震壁のせん断ひずみの許容限界を層間変形角として、以下の式により算定する。

$$\delta = h \times \theta$$

h : 開口高さ (=4.2m)
 θ : 層間変形角 (=2.0×10⁻³rad)

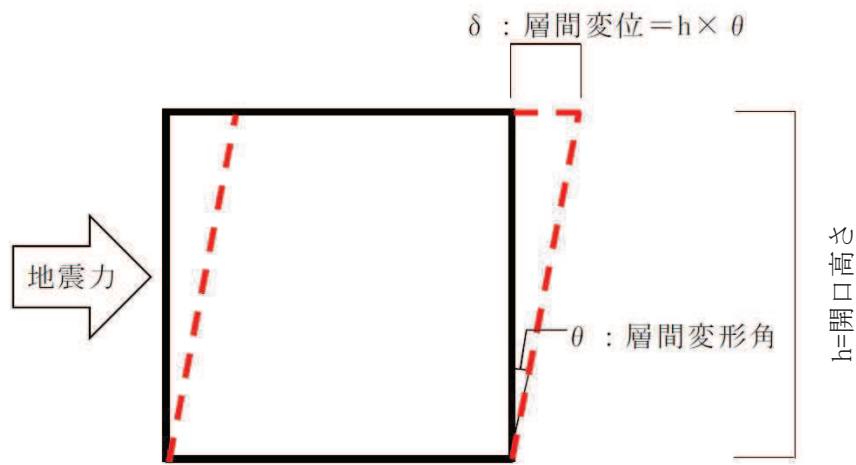


図 4-2 層間変位

4.3 評価結果

評価結果を表 4-1 に示す。枠部の層間変位は 8.4mm であり、原子炉建屋 BOP 本体側面と枠部と 50mm の隙間があることから変形に対し追従できる。以上のことから、原子炉建屋 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
8.4	50	○