

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1080 改0
提出年月日	平成30年8月24日

別紙 原子炉建屋外側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	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	6
2.4 適用基準	8
3. 評価方法	9
3.1 地震応答解析による評価方法	10
4. 固有周期	11
4.1 基本方針	11
4.2 固有周期の算出方法	11
4.3 固有周期評価結果	11
5. 機能維持評価	12
5.1 評価部位	12
5.2 評価用加速度	12
5.3 評価方法	12
6. 開放試験による応力評価	13
6.1 評価対象部位及び評価方針	13
6.2 評価方法	13
7. 評価結果	14
7.1 原子炉建屋原子炉棟の耐震評価結果	14
7.2 開放試験結果	17

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、原子炉建屋外側ブローアウトパネルが設計用地震力に対して十分な機能を有していることを説明するものである。

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、設計基準対象施設においては「Sクラス施設」に分類される。以下、分類に応じた機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、原子炉建屋のうち二次格納施設となる原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の一部を構成している。原子炉棟を含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

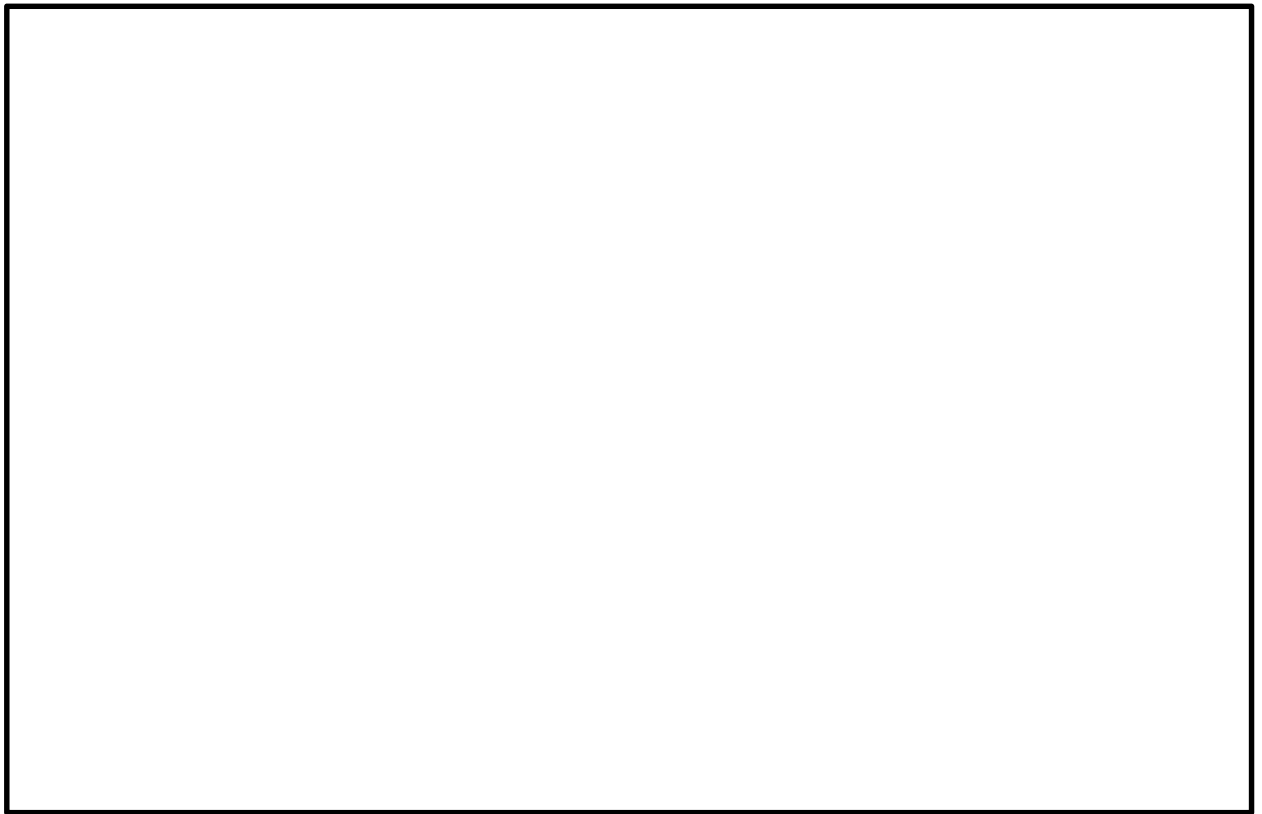


図 2-1 原子炉棟を含む原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

原子炉建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で、鉄骨造陸屋根をもつ地下2階、地上6階の建物である。中央部には、平面が南北方向45.5 m、東西方向42.5 mの原子炉棟があり、その周囲には、平面が南北方向68.5 m、東西方向68.25 m原子炉建屋附属棟（以下「附属棟」という。）を配置している。

原子炉棟は、基礎スラブから屋根面まで連続した、壁厚1.5 m～0.3 mの耐震壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）、厚さ約10 cmの鉄筋コンクリート造のスラブ（以下「屋根スラブ」という。）及び鉄骨架構（以下「屋根トラス」という。）で構成される。

内部ボックス壁（I/W）は二次遮蔽となっておりこの一部に、原子炉建屋外側ブローアウトパネルが配置されている。

原子炉棟を含む原子炉建屋の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に示す。

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、原子炉建屋原子炉棟外壁（5階及び6階部分）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破損するクリップ部より構成される設備である。

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの詳細構造を図2-4に示す。

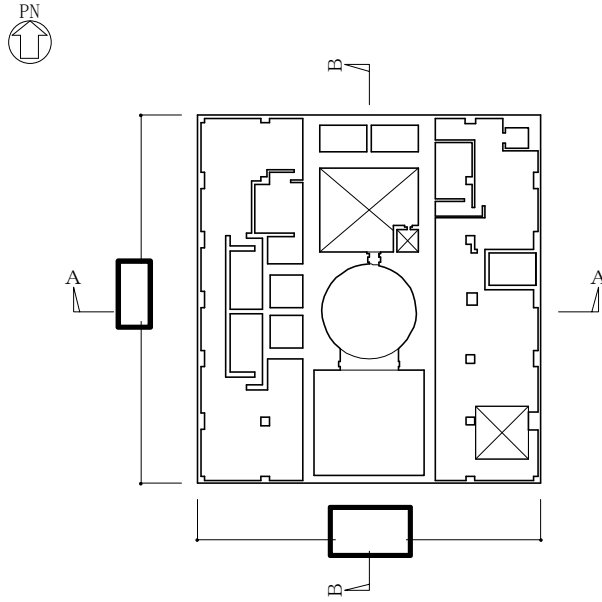


図 2-2 (1/2)  の概略平面図 (EL. 38.8 m)

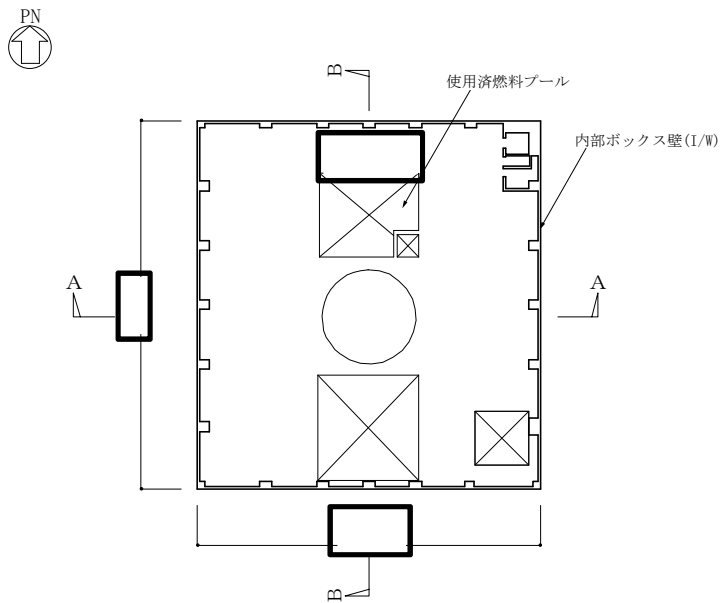


図 2-2 (2/2)  の概略平面図 (EL. 46.5 m)

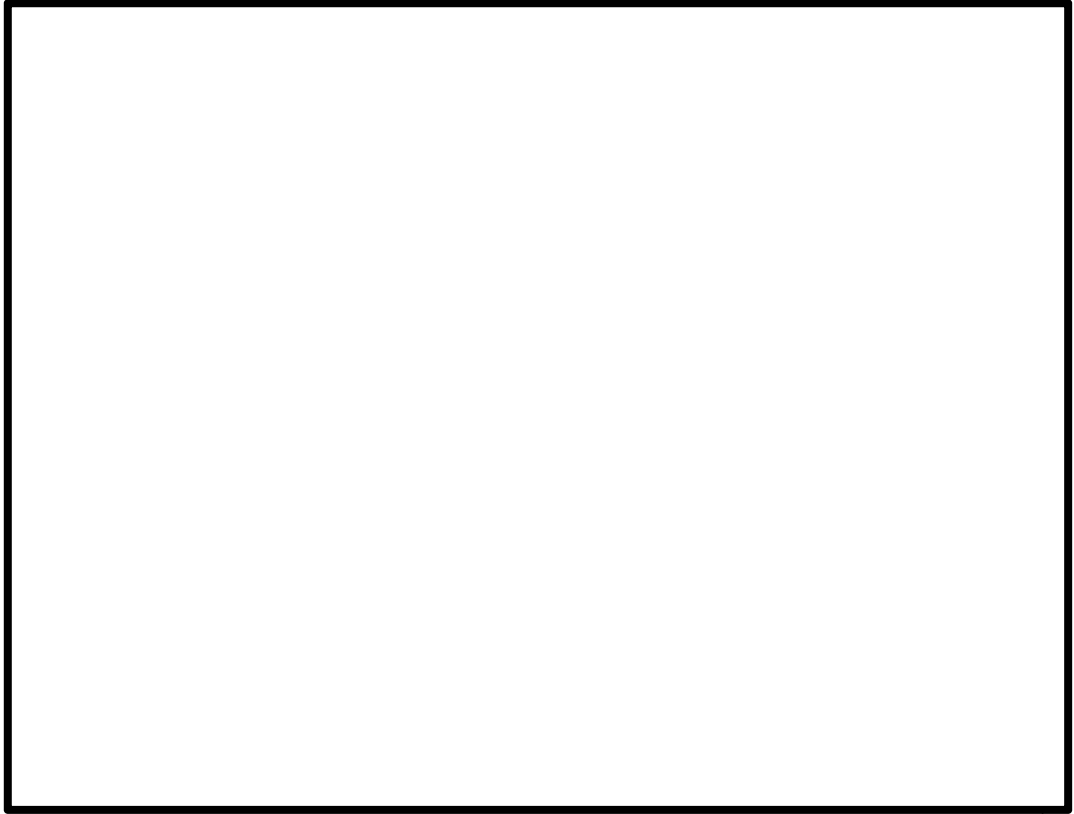


図 2-3 (1/2) 原子炉棟を含む原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)

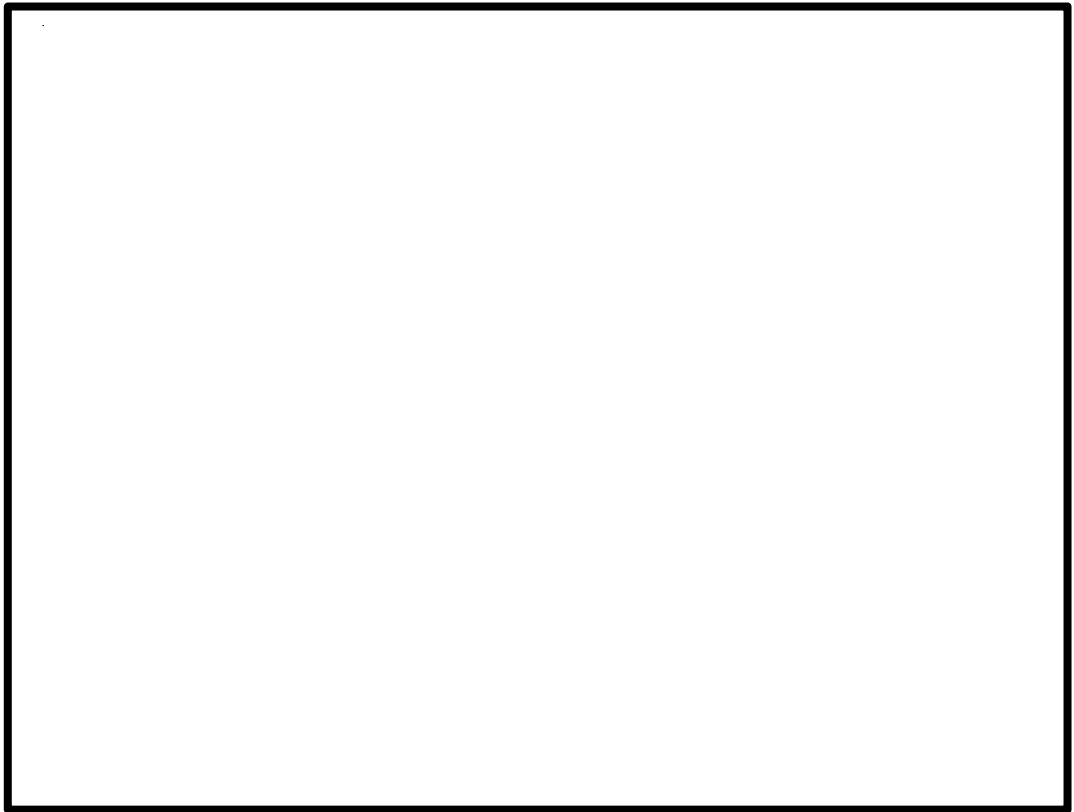


図 2-3 (2/2) 原子炉棟を含む原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面)

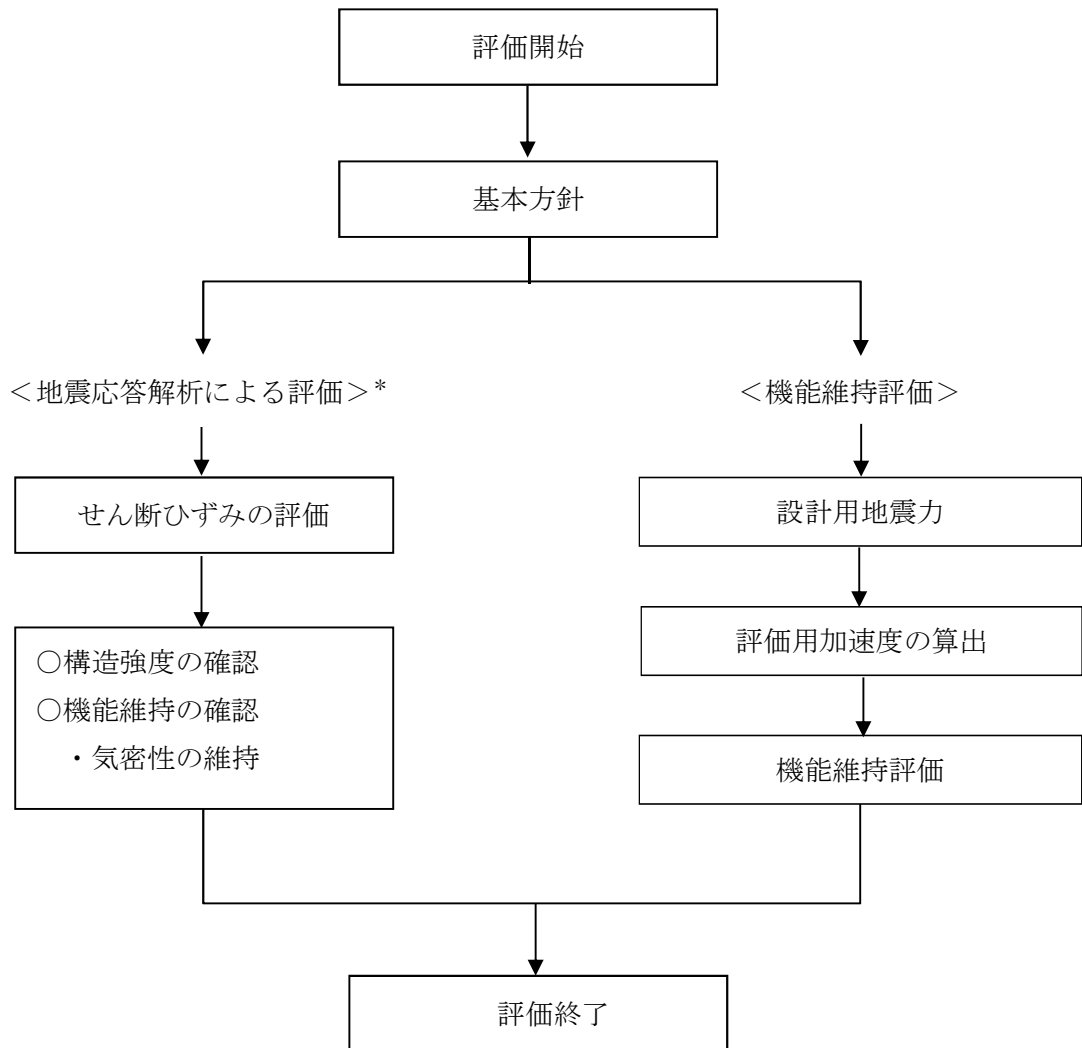
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、十分な強度を有する構造とし、取付枠とクリップにより原子炉建屋原子炉棟の壁内に据え付けられる。</p>	<p>ブローアウトパネル本体部 取付枠部</p> <p>原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、パネル本体部、パネルを建屋外壁内に設置する枠部より構成される設備である。</p>	

図 2-4 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの構造

2.3 評価方針

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.4 止水性の維持及び 4.6 支持機能の維持」にて設定した機能維持の方針に基づき、地震時の構造強度及び機能維持を「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの耐震評価フローを図 2-5 に示す。



注記 * : 添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-5 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの耐震評価フロー

(1) 原子炉建屋外側ブローアウトパネル

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、二次格納施設としてのバウンダリ機能を維持するとともに、設計基準事故に対し、地震後においても、構造健全性及び設計基準事故等に対処するために、必要な開放機能を保持し、規定の圧力（設計差圧 6.9 kPa以下）にて自動的に開放できることを機能設計上の性能目標とする。

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 相当の地震力よる地震力に対し、以下の内容を構造強度設計上の性能目標とする。

a. 構造強度

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、基準地震動 S_s による地震力に対し、本体及び枠等の主要な構造部材が開放機能を保持可能な構造強度を有すること。

b. 機能維持

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、二次格納施設としてのバウンダリ機能を維持するために、弾性設計用地震動 S_d 相当地震力にて開放しないこと。

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、規定の圧力にて自動的に開放できること。

2.4 適用基準

本計算書においては、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, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

原子炉棟の評価において、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 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 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 -1991 追補版 （（社）日本電気協会）
- ・ 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）
- ・ 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）（以下「RC-N規準」という。）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会, 2005）（以下「S規準」という。）
- ・ 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）（以下「技術基準解説書」という。）

3. 評価方法

原子炉棟は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に分類される。

原子炉棟の設計基準対象施設としての地震時の評価は、弾性設計用地震動 S_d による地震力または静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下「 S_d 地震時に対する評価」という。）、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行うこととし、それぞれの評価は、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。ただし、耐震壁については、常時荷重が設計時と同一であること、また、応答に対して支配的となる水平方向の弾性設計用地震動 S_d による地震力及び静的地震力がいずれも『既工事計画認可申請書第1回 資料Ⅲ-1-4「原子炉建屋の地震応答計算書」(47公第12076号 昭和48年4月9日認可)』の設計用地震力よりも小さいことから、 S_d 地震時に対する評価は行わない。

原子炉棟の評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においてはせん断ひずみの評価を行うことで、原子炉棟の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価に当たっては、地盤物性のばらつきを考慮する。なお、保有水平耐力の評価については、原子炉棟が原子炉建屋の一部であることを踏まえ、原子炉棟を含む原子炉建屋全体としての評価結果を、添付書類「V-2-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」に示すこととする。

3.1 地震応答解析による評価方法

地震応答解析による評価において、原子炉棟の構造強度については、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

また、気密性の維持については、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による結果に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における原子炉棟の許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表 3-1 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} *2

注記 *1: 建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、梁、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと、全体に剛性の高い構造となっており、複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの面内変形が抑えられるため、各層の耐震壁が最大せん断ひずみの許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2: 事故時に原子炉格納容器から漏洩した空気を非常用ガス処理系で処理できるように気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。

4. 固有周期

4.1 基本方針

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

4.2 固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、分析器）により記録解析する。

4.3 固有周期の測定結果

固有周期の測定結果を表 4-1 に示す。鉛直方向、水平方向ともに固有周期が 0.05 秒未満であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期(s)

水平	鉛直
0.05 未満	0.05 未満

5. 機能維持評価

5.1 評価部位

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの閉維持機能の確認を目的とし、クリップにて固定された原子炉建屋外側ブローアウトパネルが、評価用地震加速度相当の荷重に対して、開放しないことを確認する。

5.2 評価用加速度

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは原子炉棟の外壁内に直接取り付けられた枠内に設置されることから、評価用加速度は、添付書類「V-2-9-1-10 原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析で評価した、原子炉建屋外側ブローアウトパネル取付部に相当する質点に生じる加速度とする。評価用加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価用加速度 (×9.8 m/s²)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度 (弾性設計用地震動)
			原子炉建屋外側 ブローアウトパネル
		鉛直	0.94

5.3 評価方法

モックアップ試験装置を用いて、油圧ジャッキによりパネル本体を開方向に加力し、ブローアウトパネルがS_d相当荷重で開放しないことをパネルの荷重曲線より評価する。

6. 開放試験による応力評価

6.1 評価対象部位及び評価方針

ブローアウトパネルとその取付枠，並びにクリップを設置した実機大のモックアップ試験体を製作し，油圧ジャッキを用いた加力による開放試験を実施する。

本試験装置を用いて実測する開放に必要な荷重より，設定したクリップ条件によるブローアウトパネルの耐震性能を確認する。

6.2 評価方法

開放試験における確認項目を以下に示す。開放試験にて得られる記録値から，ブローアウトパネルの耐震性能を確認する。

- ・ジャッキ荷重 - 変位関係（グラフ）
- ・ブローアウトパネルの開放荷重

7. 評価結果

7.1 原子炉建屋原子炉棟の耐震評価結果

原子炉棟について、 S_s 地震時の各層の最大せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみは 0.60×10^{-3} (要素番号(5), 地盤+ σ ケース, NS 方向, S_s -31) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。地盤物性のばらつきを考慮した各方向の $Q-\gamma$ 関係と最大応答値を図 7-1 に示す。

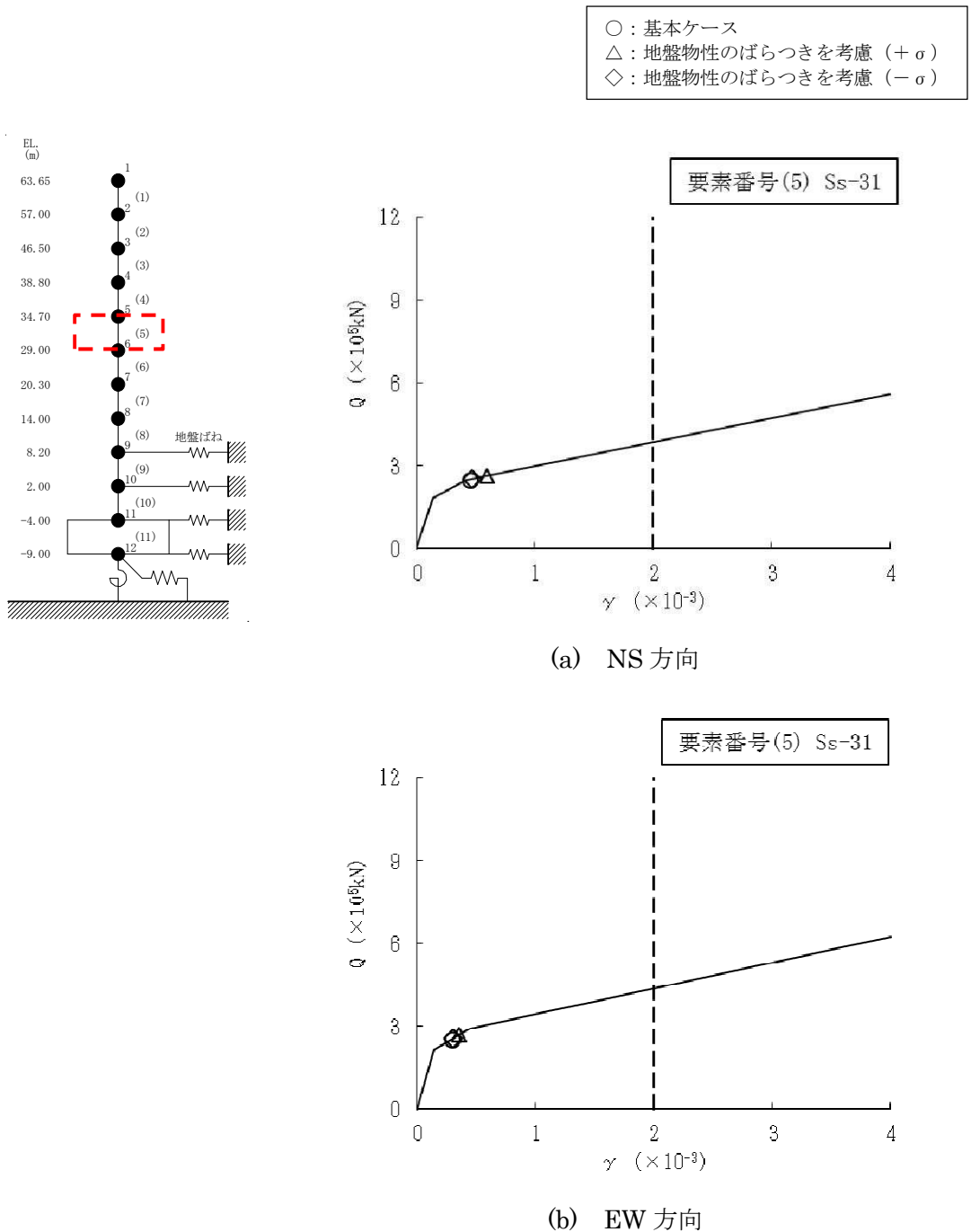


図 7-1 $Q-\gamma$ 関係と基準地震動 S_s に対する各部材の最大応答値

(1) 機能維持評価結果

機能維持評価の結果を以下に示す。

本体パネルと、取付枠の隙間は、左右各17.5 mm、上28 mm、下6 mmに施工されており、地震時の変形等がこの間隙以下であれば、開放機能に影響はないと判断する。さらに、クリップの取付寸法による間隙も併せて確認する。

クリップの形状および溝形鋼への取付け位置を図7-2に示す。クリップの材質はSS400とし、形状は図に示すように、クリップ幅80 mm、 mm、アングル側の mmとし、溝形鋼の先端との mmとして、M6ボルトにより溝形鋼に取付ける。ここで、溝形鋼との mmとすることにより、ブローアウトパネル設置階における S_s に対する地震応答解析結果の層間変形角の最大値に十分な余裕を見込んだ層間変形角 に対しても、アングル先端がクリップと干渉することを防ぐことが可能となる。図7-3参照。

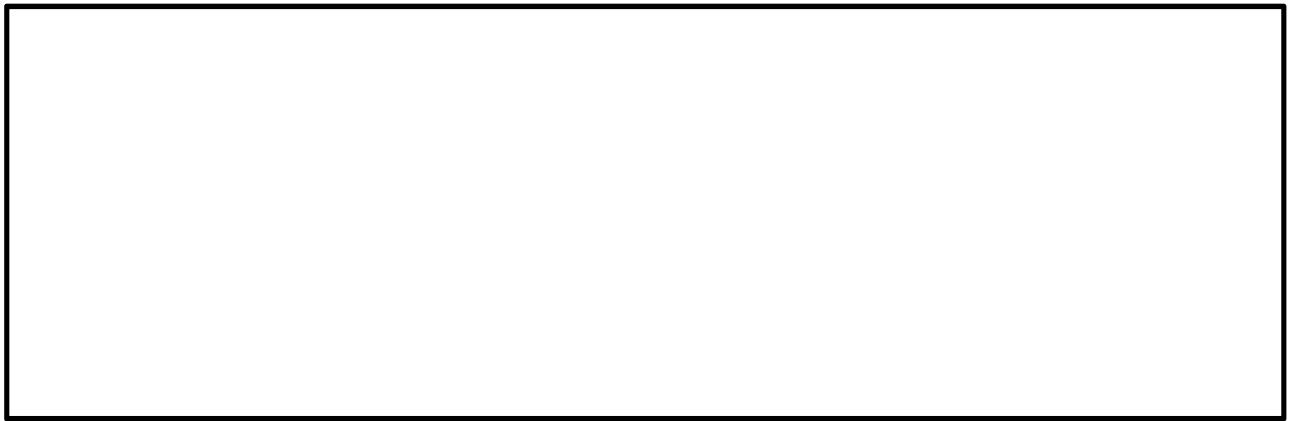


図 7-2 クリップ形状及び取付位置図

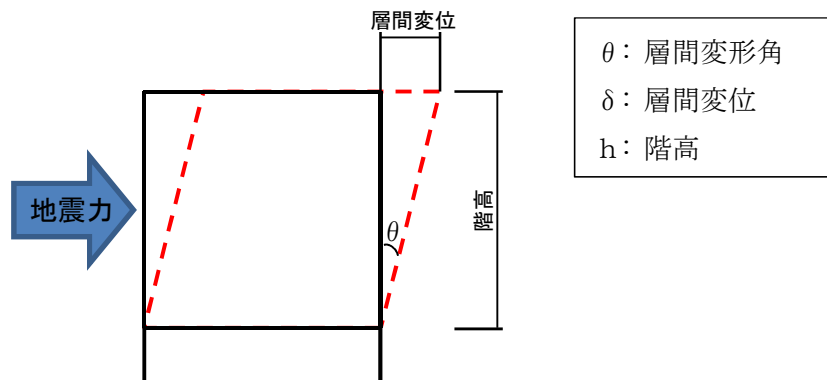


図 7-3 層間変形角について

(2) 固有値確認結果

ハンマーによる打撃及び常時微動によるブローアウトパネル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を図7-4に示す。25 Hz 並びに 50 Hz に大きなピークがあり、それぞれが1次振動数, 2次振動数である。

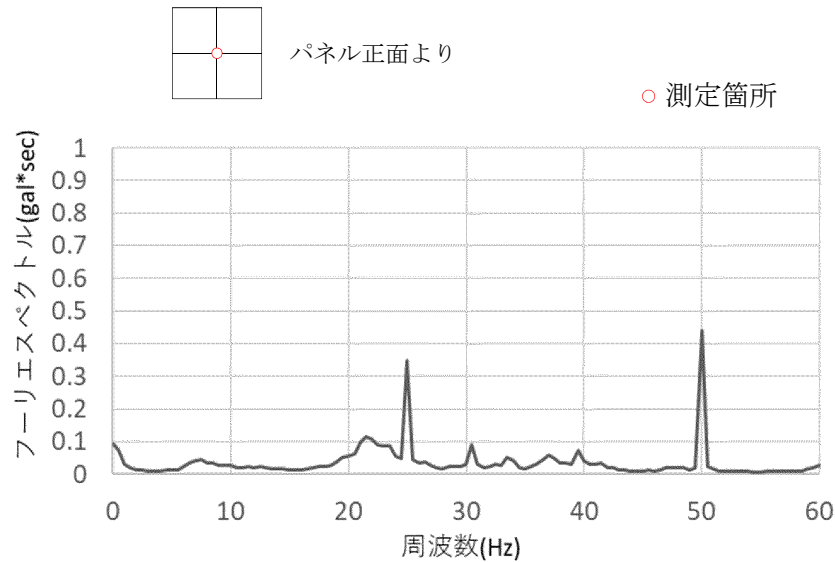


図7-4 ブローアウトパネルの固有振動数測定結果

(3) 作動確認結果

ブローアウトパネルが S_d 相当荷重で開放しないことを表7-1のとおり確認した。

【試験結果】

試験体1 : 最大荷重59.6 kN

試験体2 : 最大荷重62.8 kN

作動確認結果より、ブローアウトパネルの開放荷重が、 S_d 相当荷重値（約25 kN）以上であることを確認した。

各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果及びクリップの開放状況を参考図として図7-5, 図7-6に示す。

表7-1 パネルの耐震性能確認結果 (kN)

項目	試験日	測定値	判定値 (S_d 相当荷重)	判定
試験体1	6/9	59.6	25以上	○
試験体2	6/15	62.8	25以上	○

注記 * : ブローアウトパネルの固有振動数判定より求めた値に対応する、設置位置の S_d 相当荷重

7.2 開放試験結果

原子炉建屋外側ブローアウトパネル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。評価用加速度は機能評価用加速度以下であり、設計用地震力に対して機能が維持されていることを確認した。

開放に必要な荷重は、評価用加速度に相当する水平方向荷重値以下であり、**弾性設計用地震動 S_d 相当地震力**に対して原子炉建屋外側ブローアウトパネルの閉維持機能が維持されることを確認した。

試験体2の例

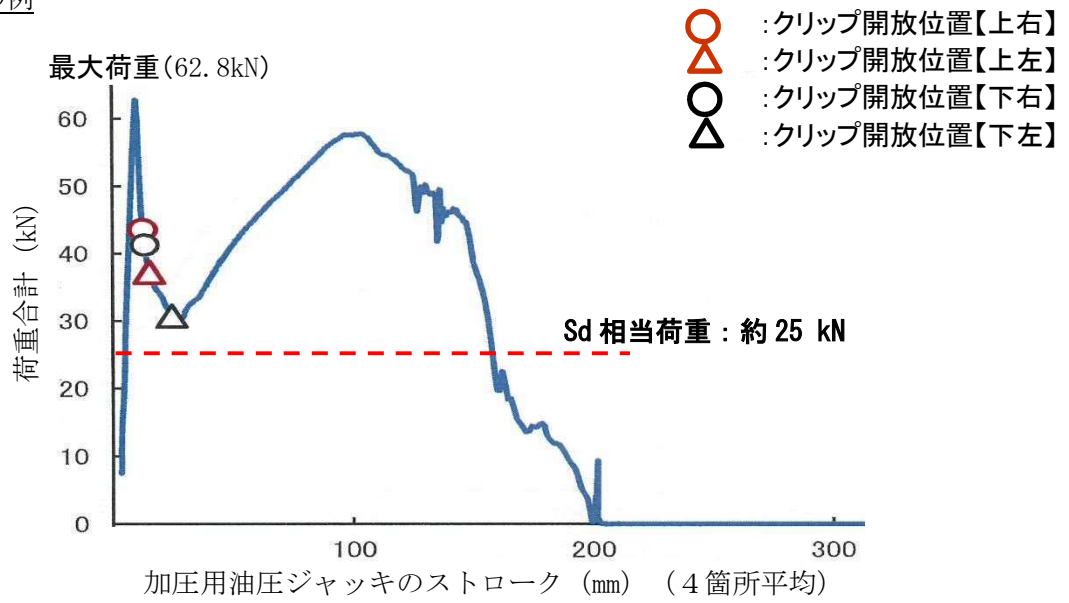


図 7-5 油圧ジャッキの荷重合計と変位図

NT2 補② V-2-9-1-10 別紙 R0

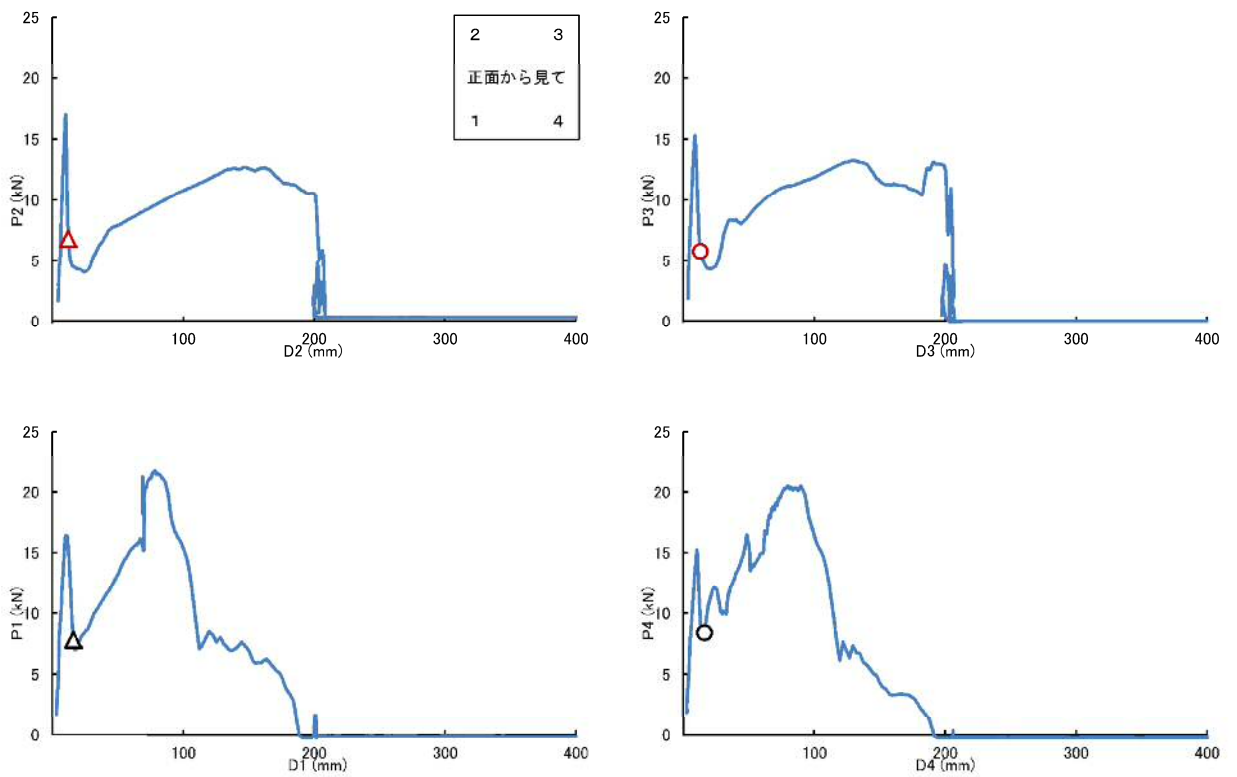


図 7-6 各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果