

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 1
提出年月日	平成 30 年 10 月 1 日

別紙 3 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	別紙 3-1
2. 一般事項	別紙 3-1
2.1 配置概要	別紙 3-1
2.2 構造概要	別紙 3-2
2.3 評価方針	別紙 3-6
2.4 適用規格・基準等	別紙 3-8
3. 地震応答解析による評価方法	別紙 3-9
4. 固有周期	別紙 3-10
4.1 基本方針	別紙 3-10
4.2 固有周期の算出方法	別紙 3-10
4.3 固有周期の測定結果	別紙 3-10
5. 機能維持評価	別紙 3-11
5.1 評価部位	別紙 3-11
5.2 評価用加速度	別紙 3-11
5.3 評価方法	別紙 3-11
6. 開放試験による応力評価	別紙 3-12
6.1 評価対象部位及び評価方針	別紙 3-12
6.2 評価方法	別紙 3-12
7. 評価結果	別紙 3-13
7.1 地震応答解析による評価結果	別紙 3-13
7.2 固有値確認結果	別紙 3-15
7.3 作動確認結果	別紙 3-15
7.4 実機大モックアップ試験の開放挙動に関する考察	別紙 3-18
7.5 開放試験結果	別紙 3-18

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「Sクラスの施設」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。

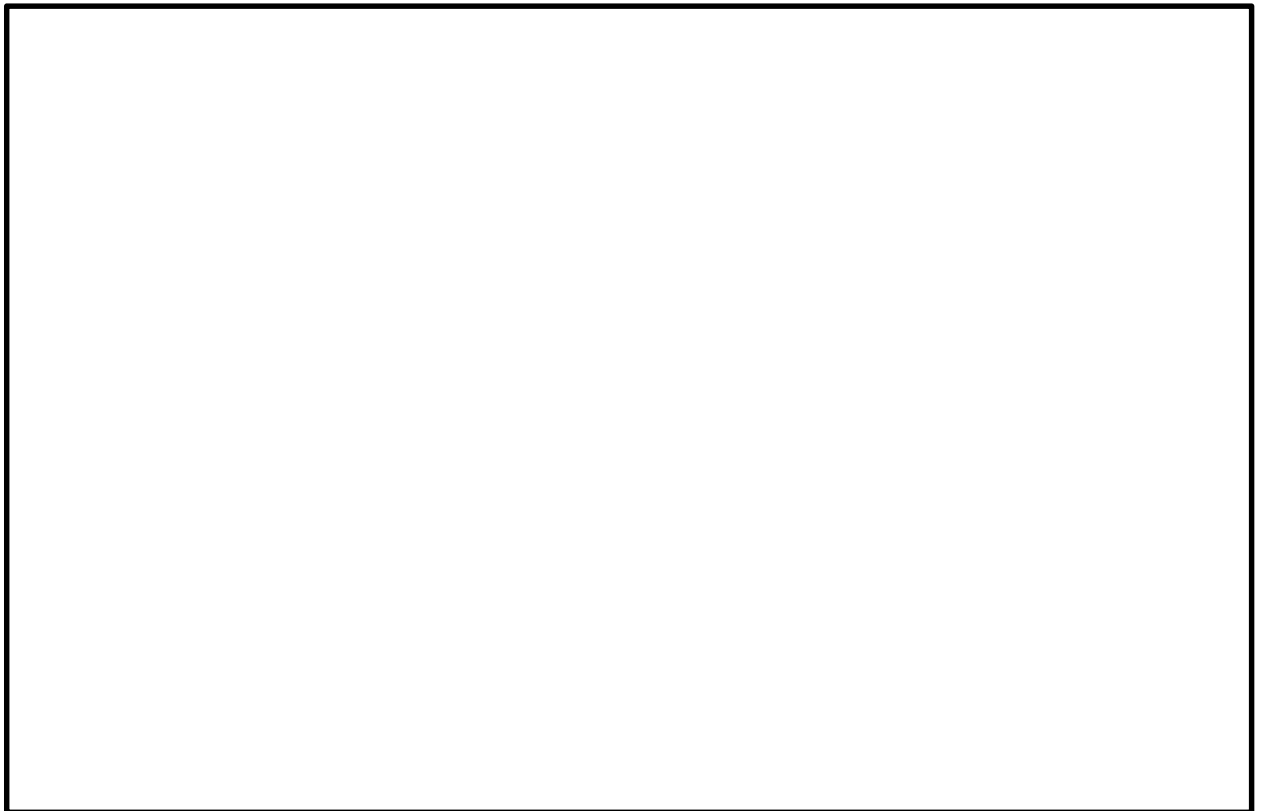


図 2-1 原子炉棟を含む原子炉建屋の設置位置

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。

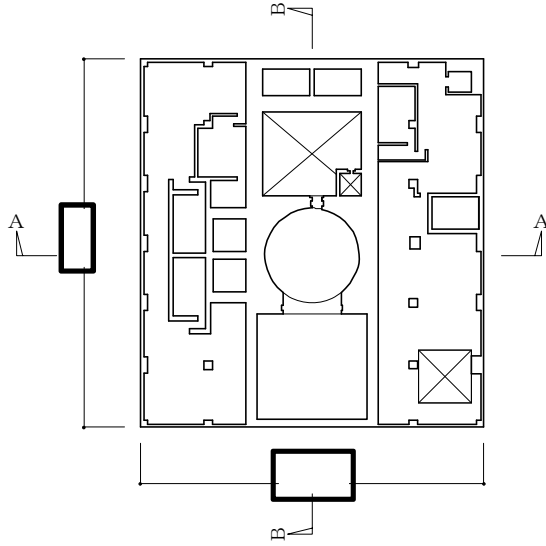


図 2-2 (1/2)  の概略平面図 (EL. 38.8 m)

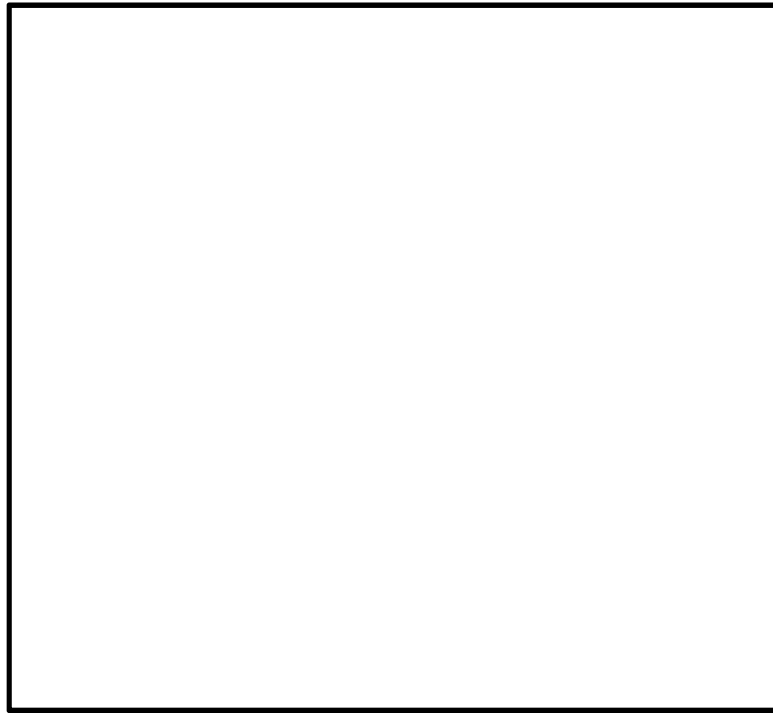


図 2-2 (2/2)  の概略平面図 (EL. 46.5 m)



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 EW 方向)

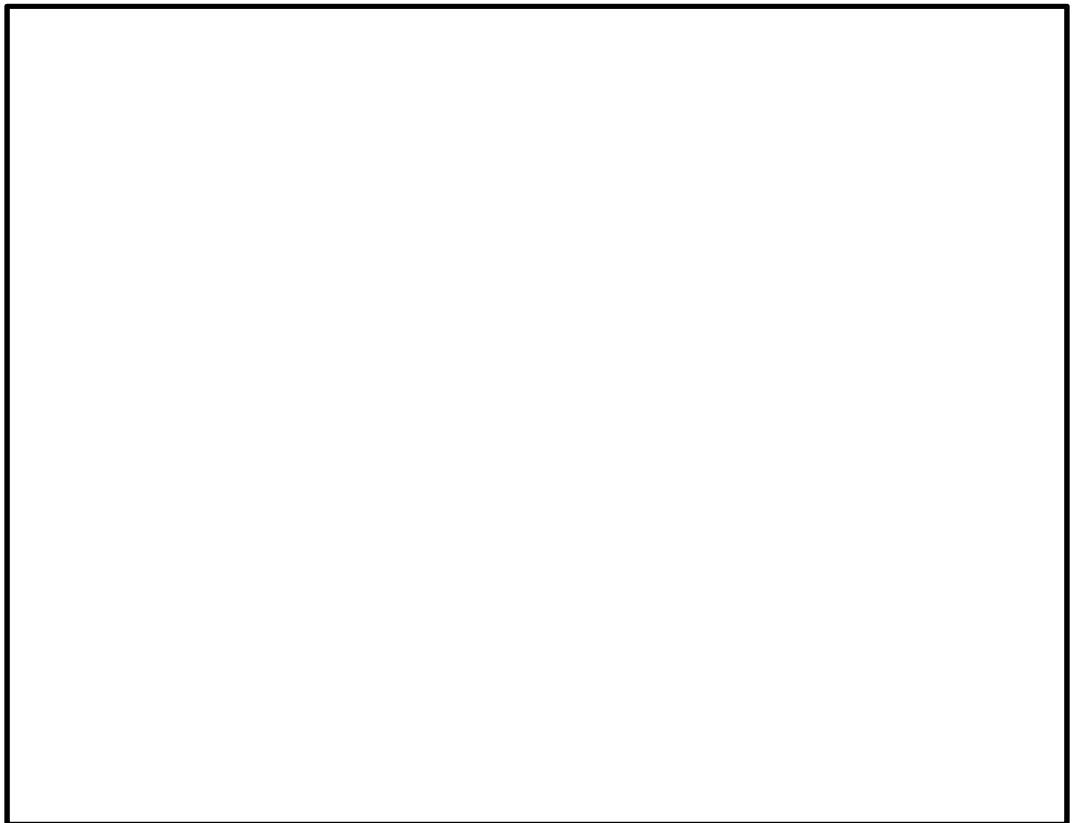


図 2-3 (2/2) 原子炉棟を含む原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面 NS 方向)

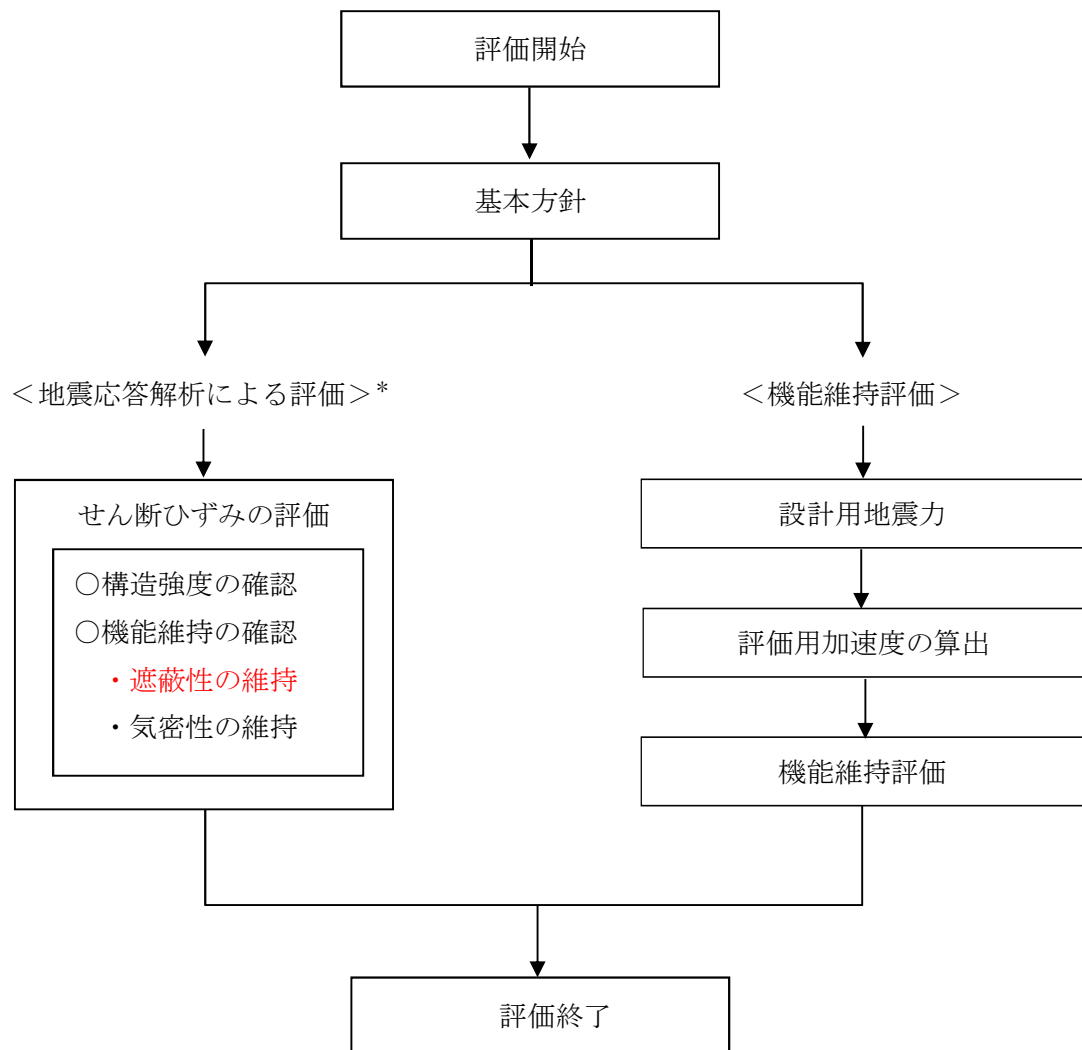
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、十分な強度を有する構造とし、取付枠とクリップにより原子炉建屋原子炉棟の壁内に据え付けられる。</p>	<p>ブローアウトパネル本体部 取付枠部</p> <p>原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、パネル本体部、パネルを建屋外壁内に設置する枠部より構成される設備である。</p>	

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、設計基準事故に対し、設計差圧（6.9 kPa 以下）により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。なお、この機能は、基準地震動 S_s により損なわれないことが要求される。また、ブローアウトパネルは、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、弾性設計用地震動 S_d で開放しないことも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、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. 機能維持

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、基準地震動 S_s 後にも規定の圧力（6.9 kPa以下）にて自動的に開放できること、及び弾性設計用地震動 S_d では開放しないこと。

b. 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、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。

2.4 適用規格・基準等

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 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
—	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。
耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、「原子炉建屋原子炉棟の気密性に関する計算書」に示す。

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は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。測定結果の詳細は 7.2 固有値確認結果に示す。

表 4-1 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向
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-2-9-3-1 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	原子炉建屋 EL. 57.00	水平	1.23
		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 地震応答解析による評価結果

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。

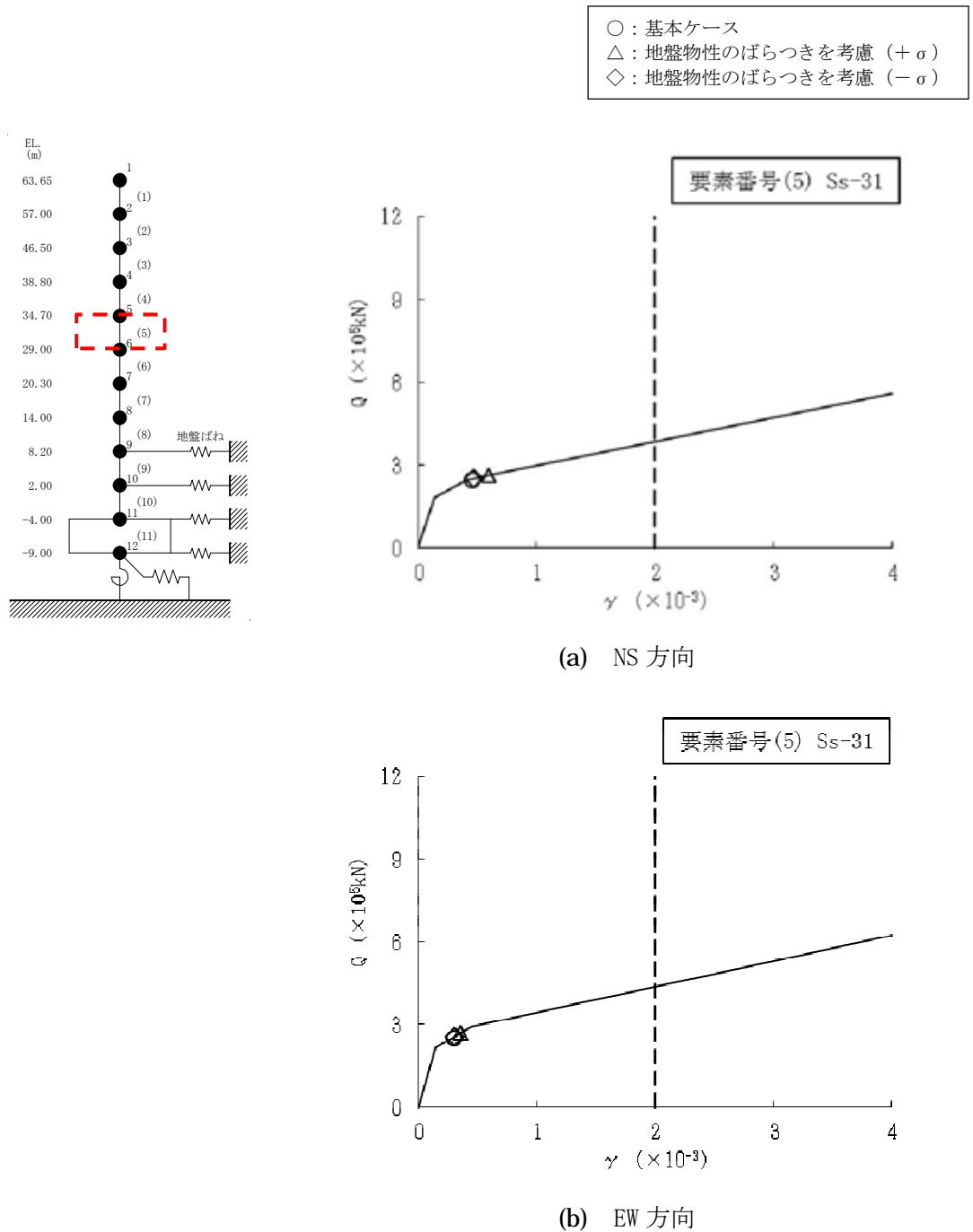


図 7-1 $Q-\gamma$ 関係と基準地震動 S_s に対する各部材の最大応答値

(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。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、層間変形角を図7-3示す。クリップの材質はSS400とし、形状は図7-2に示すように、クリップ幅80 mm、 mm、アングル側の mmとし、溝型鋼の先端との 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としたのは、ブローアウトパネル設置階におけるS₀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を目的としている。



図 7-2 クリップ形状及び取付位置図

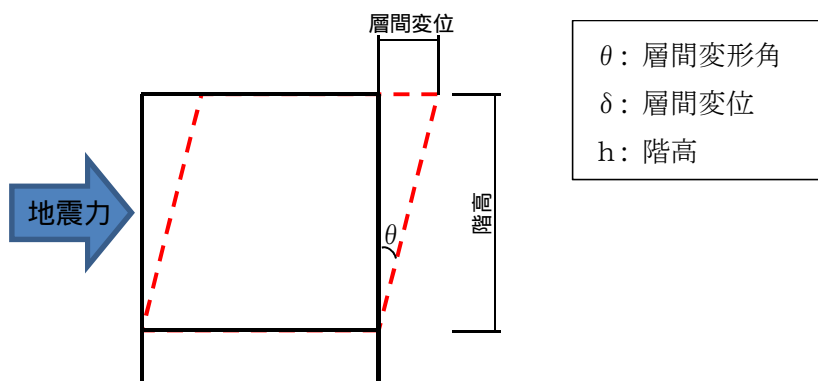


図 7-3 層間変形角について

7.2 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。

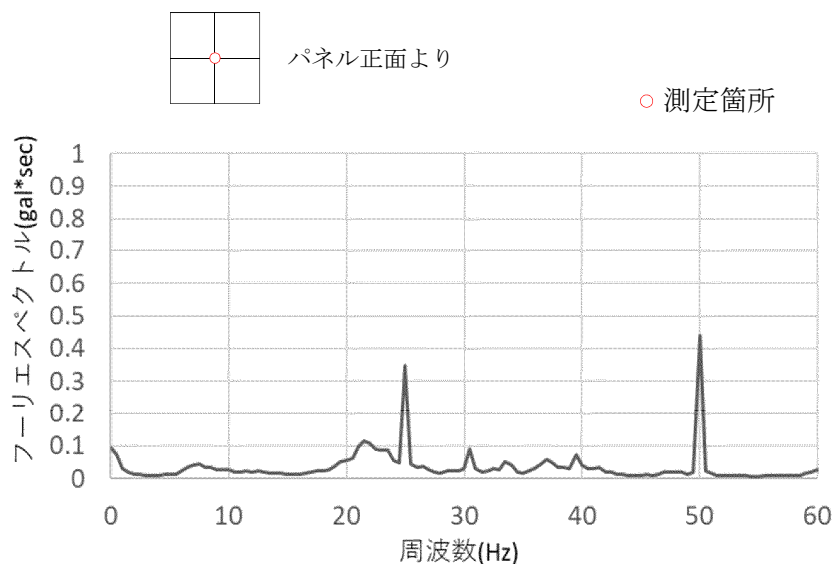


図7-4 ブローアウトパネルの固有振動数測定結果

7.3 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以下のとおり確認した。

(1) 開放機能確認

設計条件としたクリップ数10個（上部4か所，下部2か所，左右各2か所）の実機大モックアップ試験体に対して，4体の油圧ジャッキによる開放試験を実施し，ブローアウトパネルが設計条件（差圧6.9 kPa以下）の荷重にて開放することを確認した（試験体1）。同条件にて再試験を実施し再現性を確認した（試験体2）。試験結果を表7-1に，各油圧ジャッキの反力（ブローアウトパネルの抗力）を図7-5，図7-6及び図7-7，図7-8に示す。

表7-1 パネル開放荷重の最大値 (kN)

項目	試験日	測定値	許容値 (6.9 kPa相当値)	判定	備考 相当する差圧値
試験体1	6/9	<input type="text"/>	<input type="text"/>	○	<input type="text"/> (kPa)
試験体2	6/15	<input type="text"/>	<input type="text"/>	○	<input type="text"/> (kPa)

試験体 1

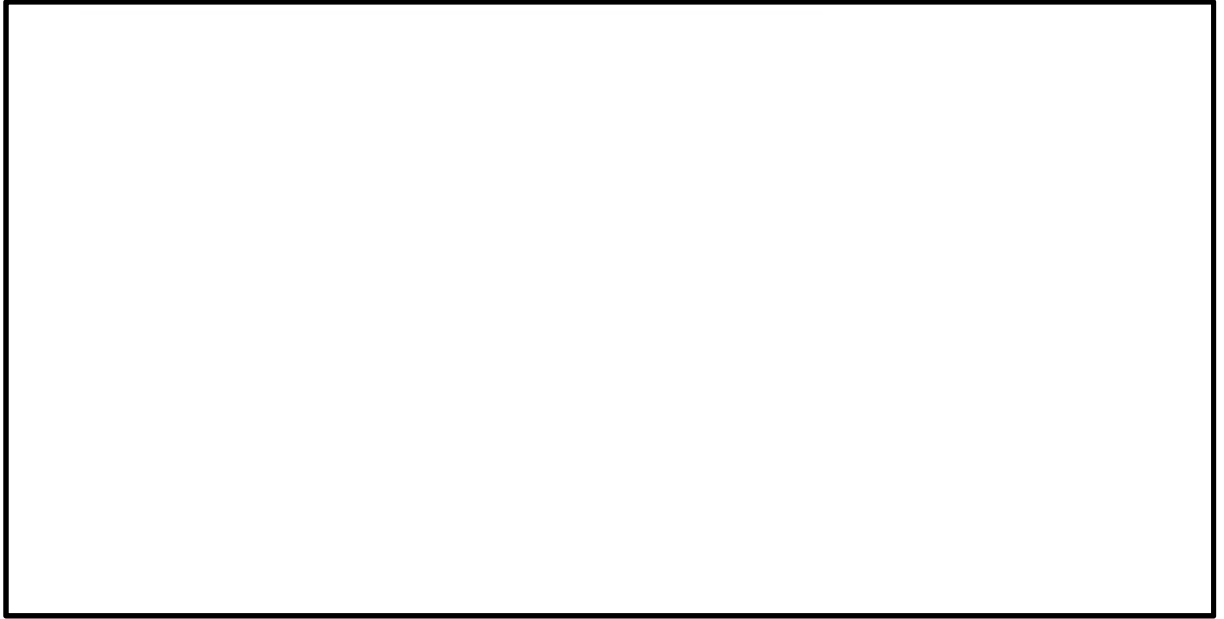


図 7-5 油圧ジャッキの荷重合計と変位図

試験体 1

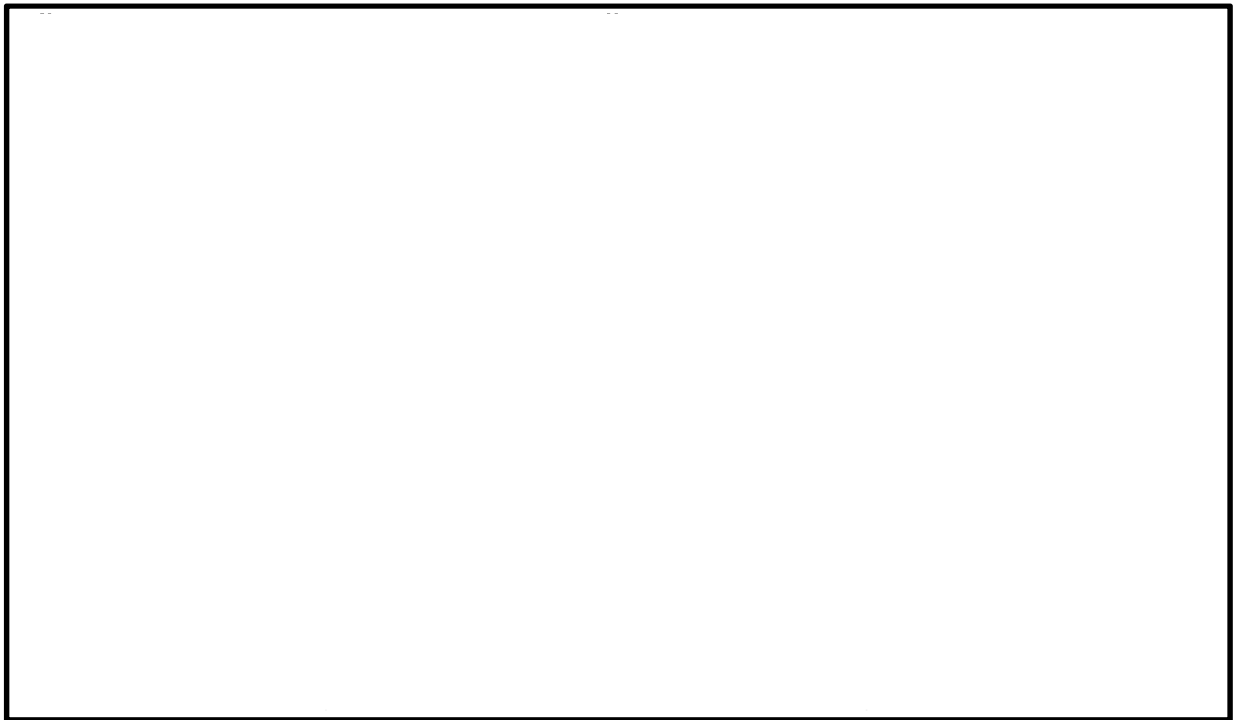


図 7-6 各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果 (1回目)

試験体 2

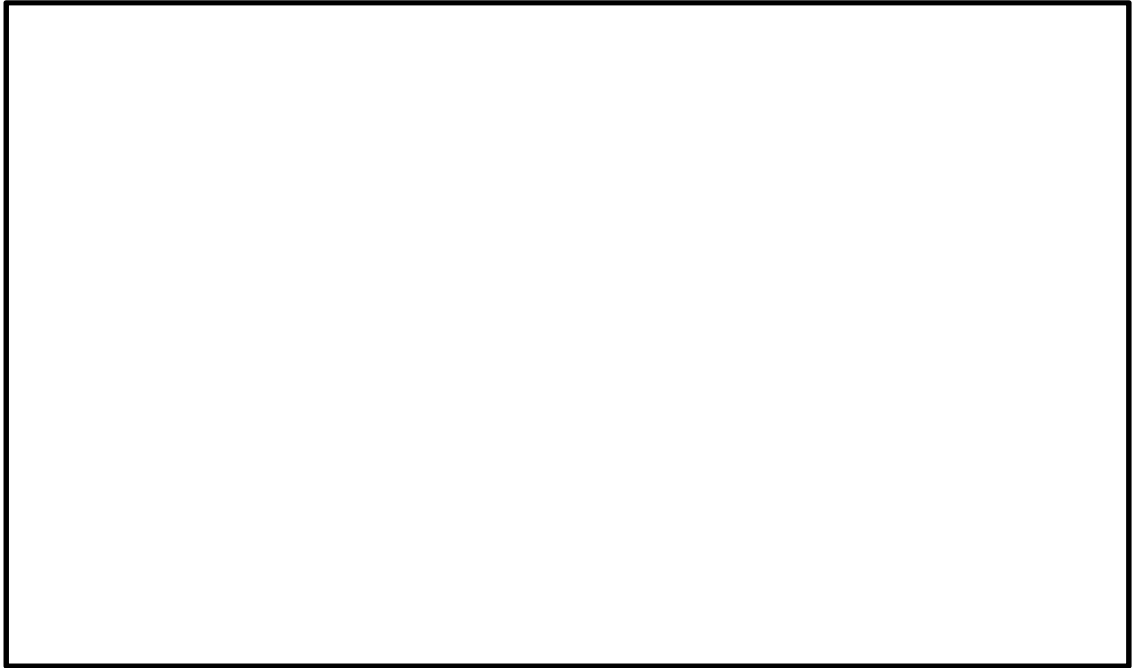


図 7-7 油圧ジャッキの荷重合計と変位図

NT2 補③ V-2-9-3-1 別紙 3 R1

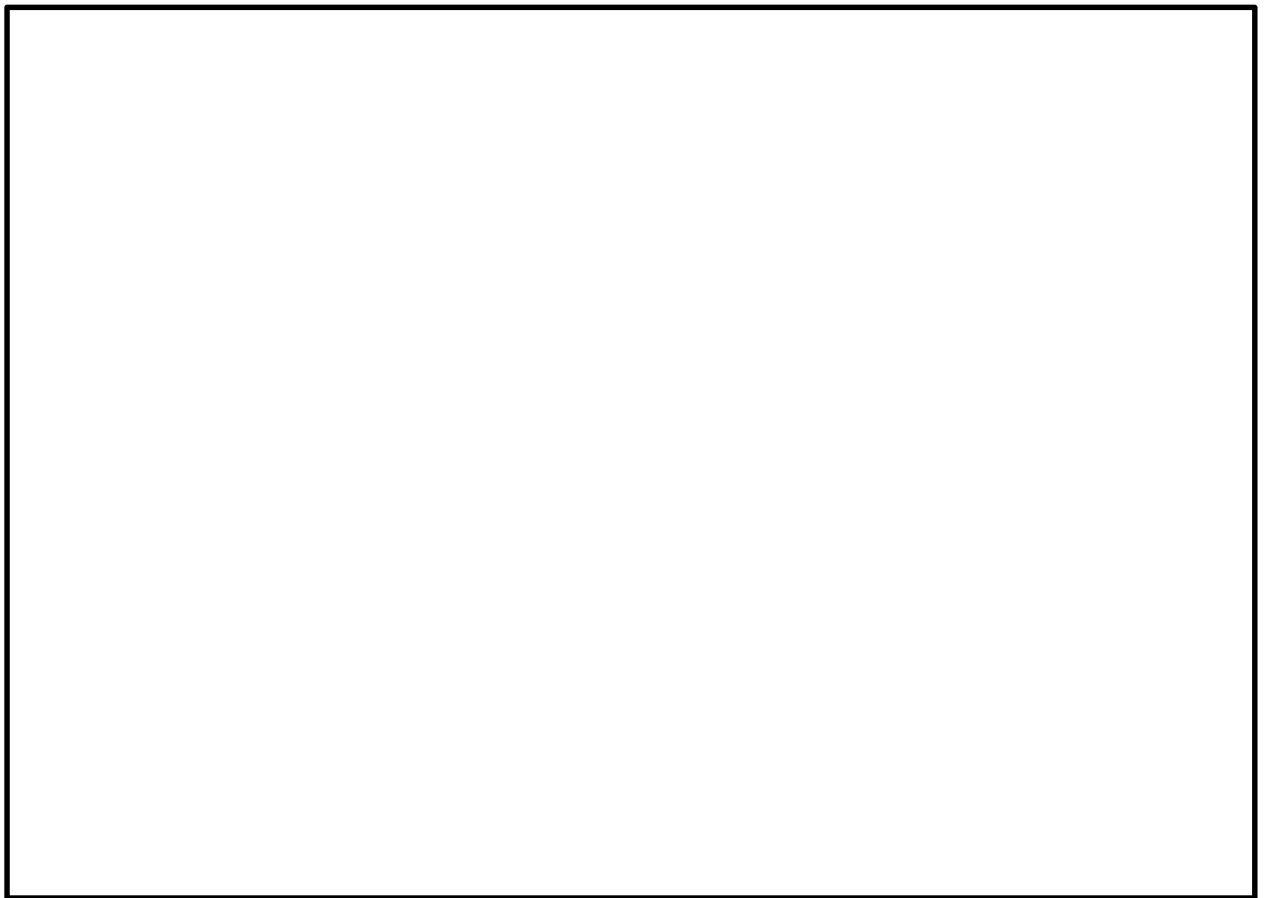


図 7-8 各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果 (2回目)

(2) 閉維持確認結果

(1) 開放機能確認結果より、ブローアウトパネルの開放荷重は S_d 相当荷重値（約25 kN）以上であることを確認した。評価結果を表7-2に示す。

S_d 相当荷重値約25 kNの根拠は、以下のとおり。

ブローアウトパネル重量 : 2000 kg

原子炉建屋外側ブローアウトパネル設置場所 (EL. 57 m) 最大応答加速度 (ZPA) $S_d : 1.23G$

S_d 相当荷重値 : $2000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1.23G = 24100 \text{ N}$

表7-2 原子炉建屋外側ブローアウト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		25以上	○
試験体 2	6/15		25以上	○

7.4 実機大モックアップ試験の開放挙動に関する考察

クリップ単体試験により、クリップは変位約12 mmで脱落するため、グラフの最初のピークは、クリップ開放時の荷重である。シール材メーカの仕様によれば、採用するシール材の最大伸び量は約600 %であるため、2度目の荷重のピークは、クリップ開放後、コーキングが約400 %～600 %（パネルの移動量にして□mm～□mmに相当）に伸長し、切断するまでの最大荷重とパネル下部の摩擦荷重の重畳によるものである。

シール材は使用環境により経年劣化するものであることから、接着力及びパネル開放時のシール材の切断荷重は、本試験結果より低下し、パネルが開放し易くなる傾向と想定される。また、上部と下部の荷重の相違は、パネルが上から倒れる状況における上下の速度の違いによるものである。

7.5 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より、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。また、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ることを確認した。

さらに、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。