

能登半島地震を踏まえた志賀原子力発電所の耐震安全性確認に係る報告について（追加報告）

平成19年6月1日
北陸電力株式会社

平成19年3月25日の能登半島地震後、直ちに志賀原子力発電所の各施設の保安確認に入るとともに、地震観測記録を基にした耐震安全性の検討を行ってまいりました。

各施設の保安確認の結果、これまでのところ安全上問題となる損傷は確認されておりません。また、観測した地震動が基準地震動S2を長周期側の一部の周期帯で超えていましたが、この周期帯には安全上重要な施設がないことを確認しました。念のため、観測された地震記録に基づいて原子炉建屋および同建屋内の安全上重要な機器・配管について検討し、施設の健全性が十分確保されていることを確認しました（平成19年4月19日お知らせ済）。

今回、前回報告時点で確認が終了していなかった安全上重要な機器・配管および長周期側の主要施設についての検討がまとまったことから、本日、原子力安全・保安院に追加報告書として報告しましたのでお知らせします。

今回の報告概要は以下のとおりです。（報告の概要は別添のとおり）

1. タービン建屋内および海水熱交換器建屋内の安全上重要な機器・配管、並びに排気筒について、敷地地盤で観測された地震記録に基づいて検討した結果、各施設とも弾性範囲内に十分収まっており、施設の健全性が確保されていることを確認しました。
2. さらに、今回の地震において長周期側の一部の周期帯で基準地震動S2を上回ったことから、念のため、長周期側で今回の地震動を上回る地震動(検討に用いた地震動)を想定し、長周期側の主要施設であるタービン建屋基礎版上の原子炉補機冷却水系配管および排気筒の耐震安全性について確認した結果、耐震安全余裕を有していることを確認しました。

以上、前回および今回の検討における志賀原子力発電所の安全上重要な施設や長周期側の主要施設に関する一連の耐震安全性確認結果から、能登半島地震を踏まえても志賀原子力発電所の耐震安全性は十分確保されていることが確認できたと考えています。

今後は、4月19日にお知らせしたとおり、現在進めている「新耐震指針に照らした耐震安全性評価」において、今回の地震に関連した新しい知見が得られれば、評価に反映してまいります。

以上

平成 19 年 6 月 1 日
北陸電力株式会社

「能登半島地震を踏まえた 志賀原子力発電所の耐震安全性確認について（追加報告）」の概要

1. はじめに

- ・平成 19 年 3 月 25 日に発生した能登半島地震に対する志賀原子力発電所 1, 2 号機の原子炉建屋および同建屋内の安全上重要な機器・配管^{※1}（A, A s クラス）の耐震健全性確認結果並びに志賀原子力発電所敷地地盤における地震観測記録の分析結果について、平成 19 年 4 月 19 日に報告した。
- ・本追加報告では、前回報告時点で耐震健全性の確認が終了していなかった 1, 2 号機タービン建屋内および海水熱交換器建屋内の安全上重要な機器・配管（A, A s クラス）、並びに排気筒の耐震健全性について確認した。
- ・さらに、能登半島地震では長周期側の一部の周期帯で基準地震動^{※2} S_2 を上回ったことから、念のため長周期側で今回の地震動を上回る地震動を想定（前回報告済）し、長周期側に固有周期^{※3}を持つ主要施設である原子炉補機冷却水系配管および排気筒について、耐震安全余裕を有していることを確認した。

2. 主要施設の耐震健全性の確認について

前回報告時点で耐震健全性の確認が終了していなかった 1, 2 号機タービン建屋内および海水熱交換器建屋内の安全上重要な機器・配管（A, A s クラス）、並びに排気筒について、能登半島地震に対し耐震健全性が確保されていることを確認した。

今回、耐震健全性の確認を行った対象施設について表-1 に示す。また、確認には敷地地盤における地震観測記録から解析的に求めた解放基盤表面^{※4}における地震動（以下「はぎとり波」という。前回報告済）を用いており、このはぎとり波を図-1 に示す。

2.1 機器・配管の耐震健全性の確認結果（表-2）

- ・はぎとり波による 1, 2 号機タービン建屋および海水熱交換器建屋の地震応答解析結果から、各建屋内に設置された確認対象である機器・配管に発生する応力を求め、許容値と比較した。
- ・今回の地震により、それぞれの機器・配管に発生した応力は基準地震動 S_1 に対する許容値以下であり、弾性範囲^{※5}に十分収まっていることから、これら機器・配管の耐震健全性が確保されていることを確認した。

2.2 排気筒の耐震健全性の確認結果（表-3）

- ・1, 2 号機排気筒について、はぎとり波を用いた地震応答解析の結果を基に求めた排気筒各部の発生応力と許容座屈^{※6} 応力度とを比較した。
- ・今回の地震による排気筒に加わる力は、設計で考慮した基準地震動 S_1 や風荷重による力を下回り、発生する応力は許容値以下であることから、弾性範囲に十分収まっており、排気筒の耐震健全性が確保されていることを確認した。

3. 固有周期が長周期である主要施設の耐震安全余裕の確認について

能登半島地震において長周期側の一部周期帯で基準地震動 S_2 を上回ったことから、念のため、長周期側で今回の地震動を上回る地震動（以下「検討に用いた地震動」という。図-2）を想定し、長周期側の主要施設である1,2号機タービン建屋基礎版上の原子炉補機冷却水系配管および排気筒について、耐震安全余裕を有していることを確認した。

3.1 原子炉補機冷却水系配管の耐震安全余裕の確認結果（表-4）

- ・1,2号機タービン建屋内の原子炉補機冷却水系配管について、検討に用いた地震動による建屋の地震応答解析結果から、配管に発生する応力を求め、許容値と比較した。
- ・この結果、1,2号機原子炉補機冷却水系配管に発生する応力は基準地震動 S_2 に対する許容値以下であることから、これら配管について耐震安全余裕を有していることを確認した。

3.2 排気筒の耐震安全余裕の確認結果（表-5）

- ・1,2号機排気筒について、検討に用いた地震動による地震応答解析の結果を基に求めた排気筒各部の発生応力と許容座屈応力度とを比較した。
- ・この結果、1,2号機排気筒に発生する応力は許容値以下であることから、排気筒について耐震安全余裕を有していることを確認した。

4. まとめ

- ・はざとり波を基に、1,2号機タービン建屋内および海水熱交換器建屋内の安全上重要な機器・配管や排気筒について確認を実施したところ、各施設とも弾性範囲内に十分収まっており、施設の耐震健全性が確保されていることを確認した。
- ・また、念のため長周期側で今回の地震動を上回る地震動を想定し、長周期側の主要施設である原子炉補機冷却水系配管および排気筒について耐震安全余裕の確認を実施したところ、各施設とも発生する応力は許容値以下であったことから、各施設は耐震安全余裕を有していることを確認した。

以 上

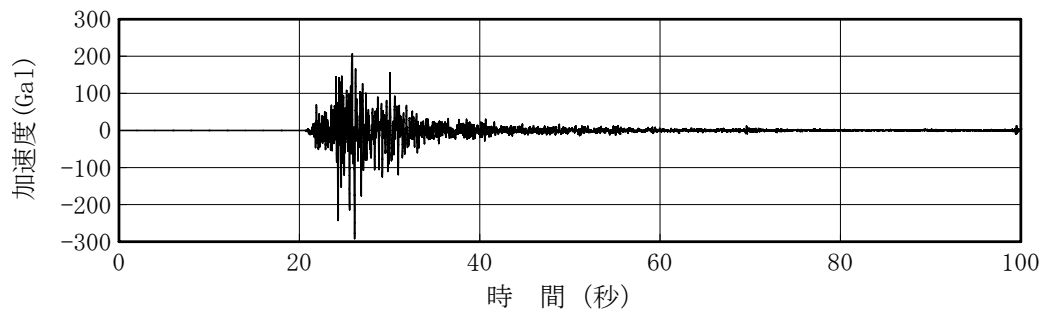
表－1 今回耐震健全性の確認を行った対象施設

(1号機)

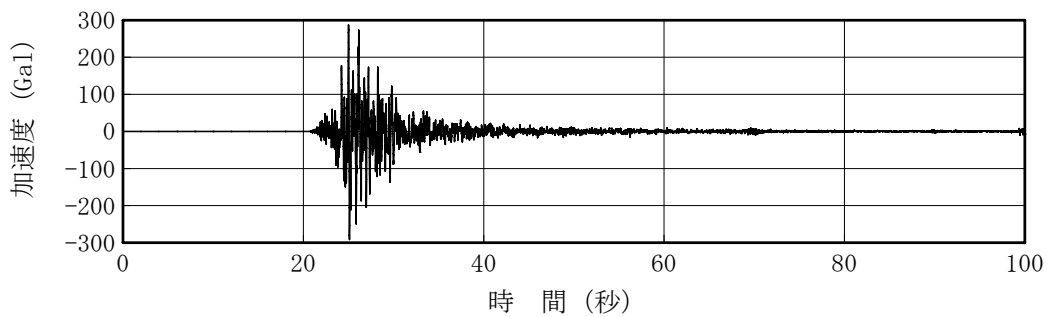
設置場所	対象施設
タービン建屋基礎版上	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却水系配管 ・高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系配管
海水熱交換器建屋地下1階	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却水系熱交換器 ・高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水ポンプ，熱交換器 ・原子炉補機冷却海水系配管，ポンプ，ストレーナ ・高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系配管，ポンプ，ストレーナ
海水熱交換器建屋地上1階	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却水系配管，ポンプ ・高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系配管 ・原子炉補機冷却海水系配管 ・高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系配管
—	<ul style="list-style-type: none"> ・排気筒

(2号機)

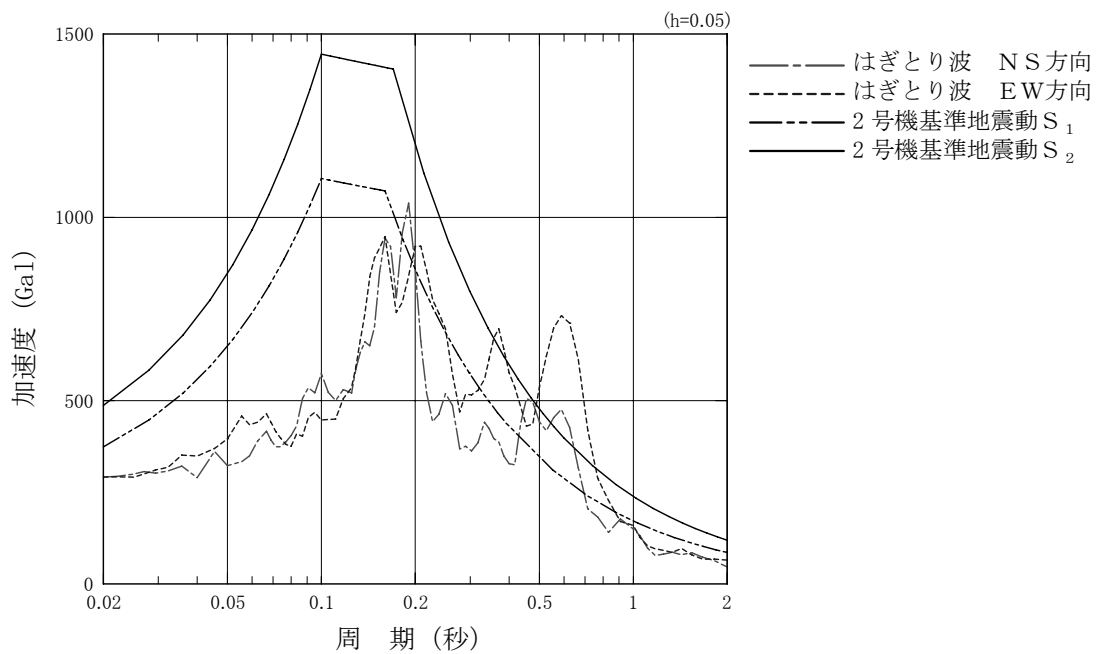
設置場所	対象施設
タービン建屋基礎版上	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却水系配管
海水熱交換器建屋地下1階	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却水系熱交換器 ・原子炉補機冷却海水系配管，ポンプ，ストレーナ
海水熱交換器建屋地上1階	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却水系配管，ポンプ ・原子炉補機冷却海水系配管
—	<ul style="list-style-type: none"> ・排気筒



加速度波形 NS方向 MAX=292Gal



加速度波形 EW方向 MAX=292Gal



加速度応答スペクトル (2号機の例)

図-1 はぎとり波

表－２ 固有周期が0.05秒を超える機器・配管の耐震健全性確認結果

(1号機タービン建屋)

機器・配管名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	S ₁ 許容値 (N/mm ²)	判定
原子炉補機冷却水系配管	基礎版上	122	233	○
高压炉心スプレィディーゼル補機冷却水系配管	基礎版上	86	228	○

(注) 計算値(kg/mm²)をS I単位に換算

(2号機タービン建屋)

機器・配管名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	S ₁ 許容値 (N/mm ²)	判定
原子炉補機冷却水系配管	基礎版上	138	233	○

(1号機海水熱交換器建屋)

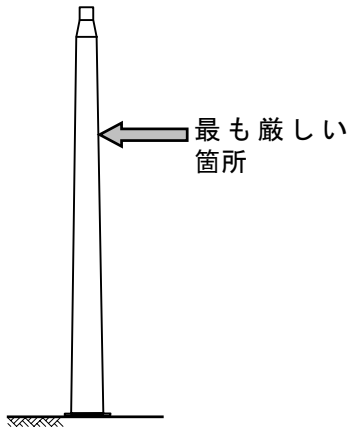
機器・配管名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	S ₁ 許容値 (N/mm ²)	判定
原子炉補機冷却海水ポンプ	地下1階	17	149	○
高压炉心スプレィディーゼル補機冷却海水ポンプ	地下1階	6	114	○
原子炉補機冷却水系配管	地上1階	168	233	○
原子炉補機冷却海水系配管	地上1階	156	205	○
高压炉心スプレィディーゼル補機冷却水系配管	地上1階	129	228	○
高压炉心スプレィディーゼル補機冷却海水系配管	地上1階	156	205	○

(注) 計算値(kg/mm²)をS I単位に換算

(2号機海水熱交換器建屋)

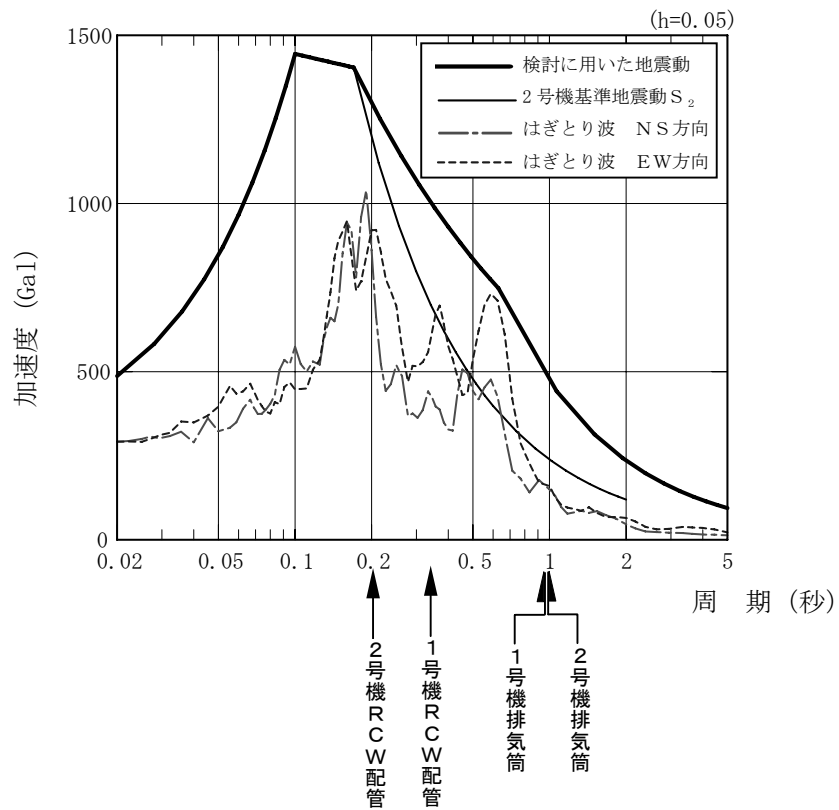
機器・配管名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	S ₁ 許容値 (N/mm ²)	判定
原子炉補機冷却海水ポンプ	地下1階	10	118	○
原子炉補機冷却水系配管	地上1階	105	233	○
原子炉補機冷却海水系配管	地上1階	130	241	○

表-3 排気筒の耐震健全性確認結果



排気筒 (鋼製自立形)

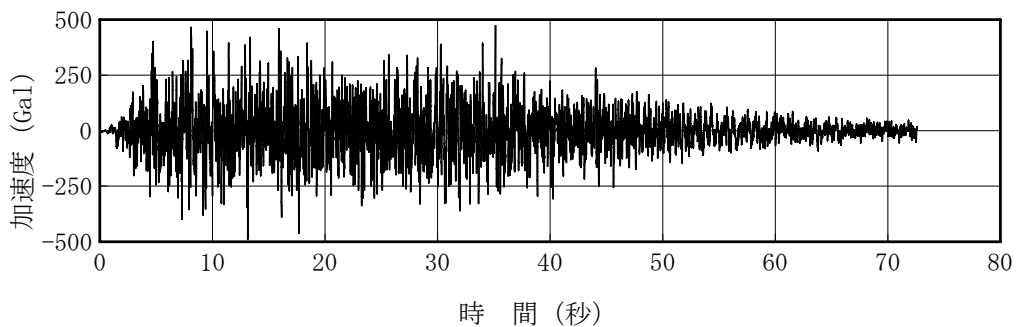
名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	許容座屈応力度 (N/mm ²)	判定
1号機 排気筒	屋外	33.7	138.7	○
2号機 排気筒	屋外	42.1	138.7	○



RCW配管：原子炉補機冷却水系配管

↑：固有周期が長周期である主要施設の固有周期

加速度応答スペクトル



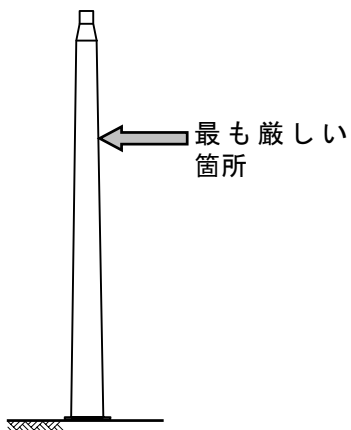
加速度波形 MAX=490Gal

図-2 検討に用いた地震動

表－4 原子炉補機冷却水系配管の耐震安全余裕の確認結果

機器・配管名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	S ₂ 許容値 (N/mm ²)	判定
1号機 原子炉補機冷却水系配管	タービン建屋 基礎版上	184	345	○
2号機 原子炉補機冷却水系配管	タービン建屋 基礎版上	170	344	○

(注)1号機は、計算値(単位：kg/mm²)をS I単位に換算



排気筒（鋼製自立形）

表－5 排気筒の耐震安全余裕の確認結果

名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	許容座屈 応力度 (N/mm ²)	判定
1号機 排気筒	屋外	66.3	138.7	○
2号機 排気筒	屋外	105.8	138.7	○

(※1) 安全上重要な機器・配管

原子力発電所の耐震設計では、地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から、施設を耐震安全上の重要度分類に応じたクラス分けを行って設計している。

このうち、自ら放射性物質を内蔵しているか、または施設の機能喪失により放射性物質を外部に放散する可能性のあるもの、及びこれらの事態を防止するために必要なもの並びに事故発生の際に、外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要なもので、影響・効果の大きいものをAクラスとしており、さらに、Aクラスの中でも特に重要なものをAsクラスとしている。安全上重要な機器・配管とは、これらのAクラス及びAsクラスの機器・配管を指す。

(※2) 基準地震動

原子力発電所では、基準地震動 S_1 と基準地震動 S_2 の2種類の地震動を用いて耐震設計を行っている。

基準地震動 S_1 とは、工学的見地から起こることを予期することが適切と考えられる地震によってもたらされる地震動をいい、過去の地震と活動度の高い活断層による地震を考慮して設定している。

また、基準地震動 S_2 とは、地震学的見地に立てば基準地震動 S_1 を超える地震の発生が否定できない場合があるので、このような地震が将来再び起こると仮定した地震によってもたらされる地震動をいい、活動性が低い活断層による地震等から想定される大きな地震、ならびにマグニチュード6.5の直下地震を考慮して設定している。

原子力発電所の耐震設計では、基準地震動 S_2 に対しても安全上重要な施設は安全機能が維持されることを確認している。

(※3) 固有周期

構造物はそれぞれに揺れやすい周期を持っており、この周期を固有周期という。

(※4) 解放基盤表面

固い岩盤が広がりを持ってむき出しになっている状態。すなわち、岩盤の上に載っている上部の地盤や建物の振動による影響を全く受けない岩盤の表面のことを言う。

(※5) 弾性範囲

弾性とは力を加えると変形するが、除荷すれば元の寸法に戻る性質をいう。弾性範囲内（変形が小さい範囲）では、変形しても元に戻る、つまり弾性を示す。

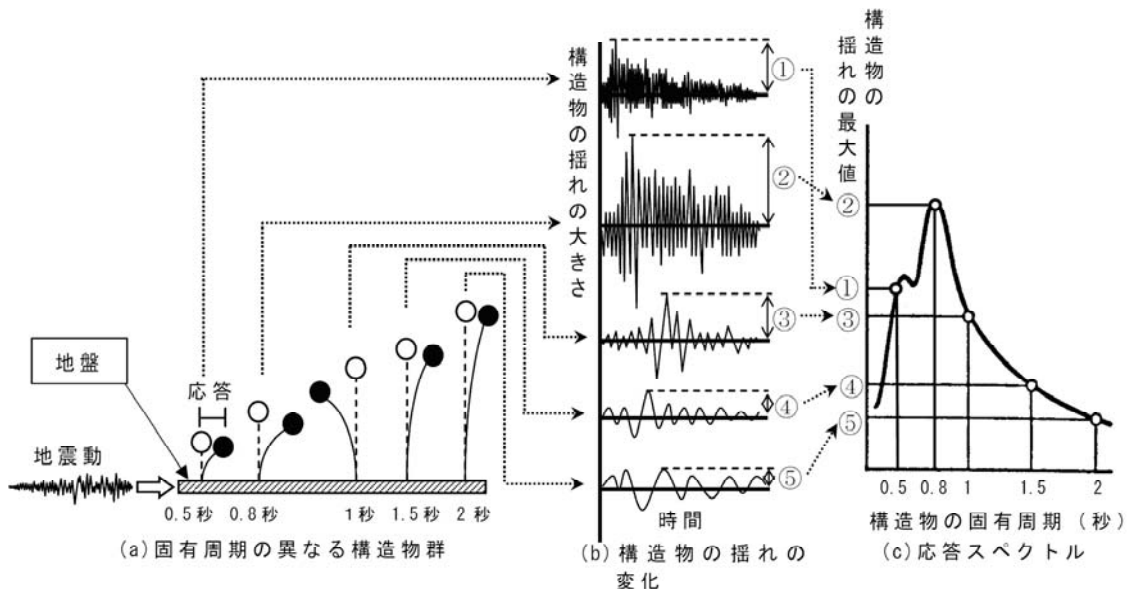
(※6) 座屈

細長い棒、薄い板などを圧縮すると、ある荷重において突然横方向にたわみを生じ、以後たわみが急激に増大する現象をいう。

(参考) 応答スペクトル

応答スペクトルとは、いろいろな固有周期を持つ構造物に対して地震動がどんな揺れを生じさせるかを分かり易いように描いたものです。構造物の固有周期が判れば、応答スペクトルから構造物に生じる揺れの大きさが把握できる。

下図は、応答スペクトルの概念を模式的に示したものであり、固有周期を細かい刻み毎に各固有周期に対応する揺れの最大値を計算して、この値をプロットし、線で結んだ曲線が地震動の応答スペクトルである。



能登半島地震を踏まえた志賀原子力発電所の
耐震安全性確認について（追加報告）

平成 19 年 6 月 1 日

北陸電力株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 主要施設の耐震健全性の確認結果について	2
2.1 確認に用いた地震動	2
2.2 機器・配管(A, A s クラス)の耐震健全性の確認結果	6
2.3 排気筒の耐震健全性の確認結果	14
3. 固有周期が長周期である主要施設の耐震安全余裕の確認結果について	19
3.1 検討に用いた地震動	19
3.2 原子炉補機冷却水系配管の耐震安全余裕の確認結果	23
3.3 排気筒の耐震安全余裕の確認結果	27
4. まとめ	31

[別紙]

- 1 「志賀原子力発電所 1, 2 号機 機器・配管の耐震安全性確認結果について
(追加報告分)」

1. はじめに

志賀原子力発電所では、平成19年3月25日に発生した能登半島地震に対する志賀原子力発電所1,2号機の耐震安全性の検討を行い、「能登半島地震を踏まえた志賀原子力発電所の耐震安全性確認について（報告）」としてとりまとめ、平成19年4月19日に報告いたしました。当該報告では、安全上重要な設備が多く配置されている原子炉建屋および同建屋内に設置された安全上重要な機器・配管を対象に、原子炉建屋内での観測記録を基に耐震健全性を確認した結果、並びに志賀原子力発電所敷地地盤における地震観測記録の分析結果を報告いたしました。

本追加報告では、1,2号機タービン建屋内および海水熱交換器建屋内の安全上重要な機器・配管、並びに排気筒について、敷地地盤における地震観測記録から解析的に求めた解放基盤表面での地震動を基に耐震健全性の確認を実施してまいりましたが、今回確認が完了したことからその結果について報告いたします。

さらに、今回の地震では長周期側の一部の周期帯で基準地震動 S_2 を上回ったことから、念のため長周期側で今回の地震動を上回る地震動を想定し、長周期側に固有周期を持つ主要施設である原子炉補機冷却水系配管および排気筒について、耐震安全余裕を有していることを確認いたしましたので、その結果もあわせて以下に報告いたします。

2. 主要施設の耐震健全性の確認結果について

今回は、前回報告時点で耐震健全性の確認が終了していなかった 1, 2 号機タービン建屋内および海水熱交換器建屋内の安全上重要な機器・配管、並びに排気筒が、今回の地震に対して弾性範囲に収まっていることから、耐震健全性が確保されていることを確認した。

今回耐震健全性の確認を行った施設を表 2.1 に示す。また、耐震健全性の確認フローを図 2.1 に示す。

2.1 確認に用いた地震動

耐震健全性の確認に用いた地震動は、志賀原子力発電所の敷地地盤の岩盤中（EL-10m）で得られた観測記録を用い、EL-10m から上部の地盤の影響を取り除いて解析的に求めた解放基盤表面での地震動（以下「はぎとり波」という。）を用いた。はぎとり波の加速度波形および加速度応答スペクトルを図 2.1.1 に示す。なお、加速度応答スペクトルには参考として 1, 2 号機の基準地震動もあわせて示す。

表 2.1 今回耐震健全性の確認を行った対象施設

(1号機)

設置場所	対象施設
タービン建屋基礎版上	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却水系配管 高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系配管
海水熱交換器建屋地下1階	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却水系熱交換器 高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水ポンプ，熱交換器 原子炉補機冷却海水系配管，ポンプ，ストレーナ 高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系配管，ポンプ，ストレーナ
海水熱交換器建屋地上1階	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却水系配管，ポンプ 高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系配管 原子炉補機冷却海水系配管 高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系配管
—	<ul style="list-style-type: none"> 排気筒

(2号機)

設置場所	対象施設
タービン建屋基礎版上	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却水系配管
海水熱交換器建屋地下1階	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却水系熱交換器 原子炉補機冷却海水系配管，ポンプ，ストレーナ
海水熱交換器建屋地上1階	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却水系配管，ポンプ 原子炉補機冷却海水系配管
—	<ul style="list-style-type: none"> 排気筒

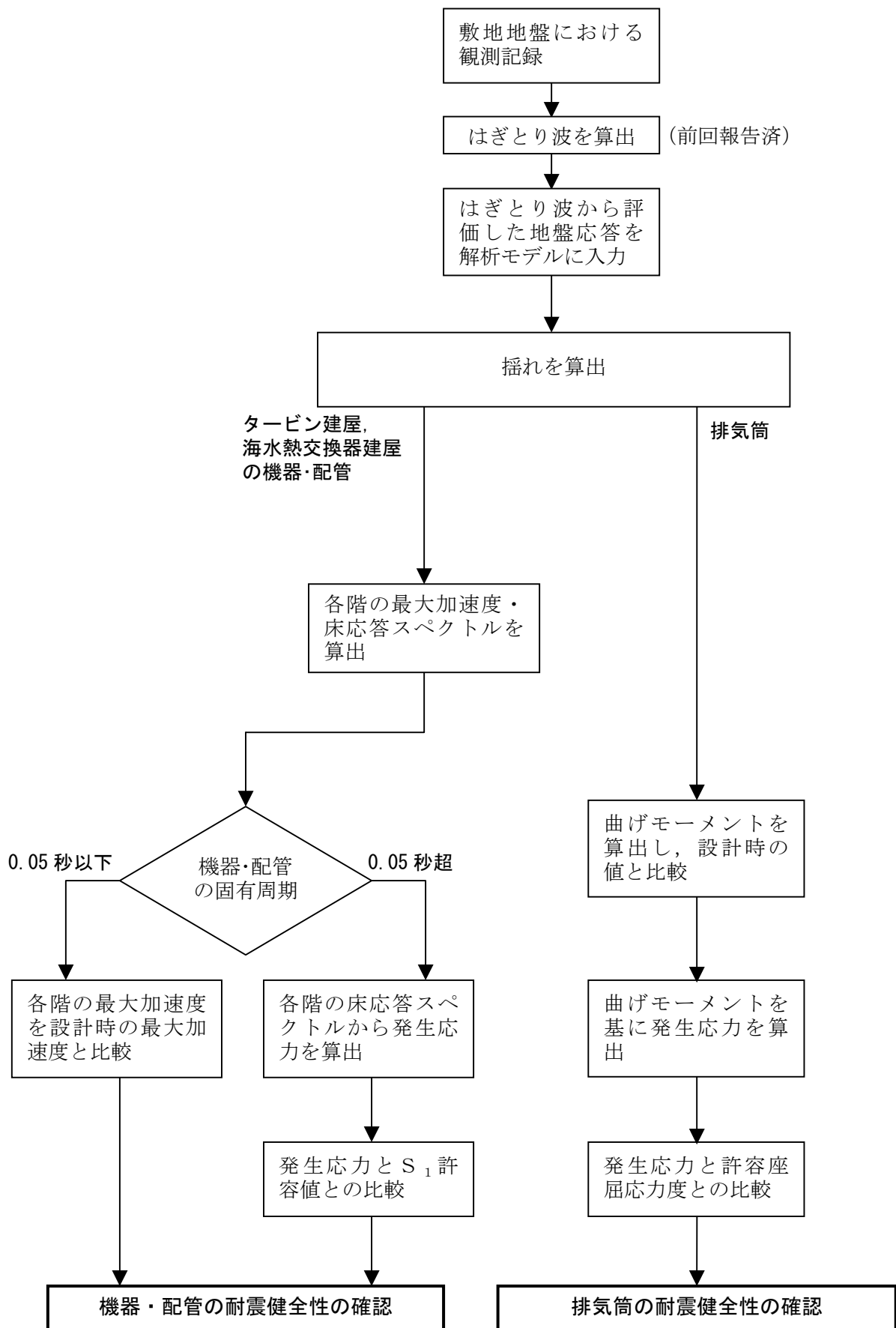
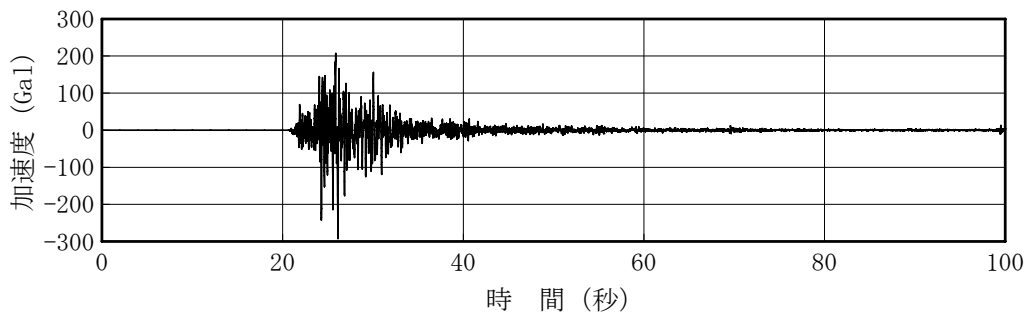
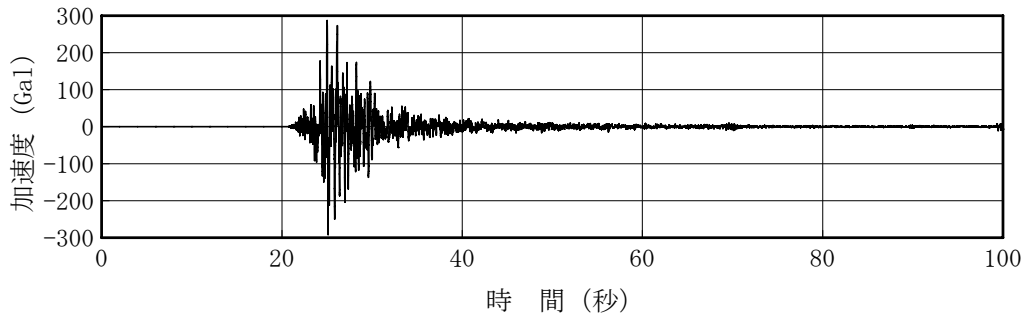


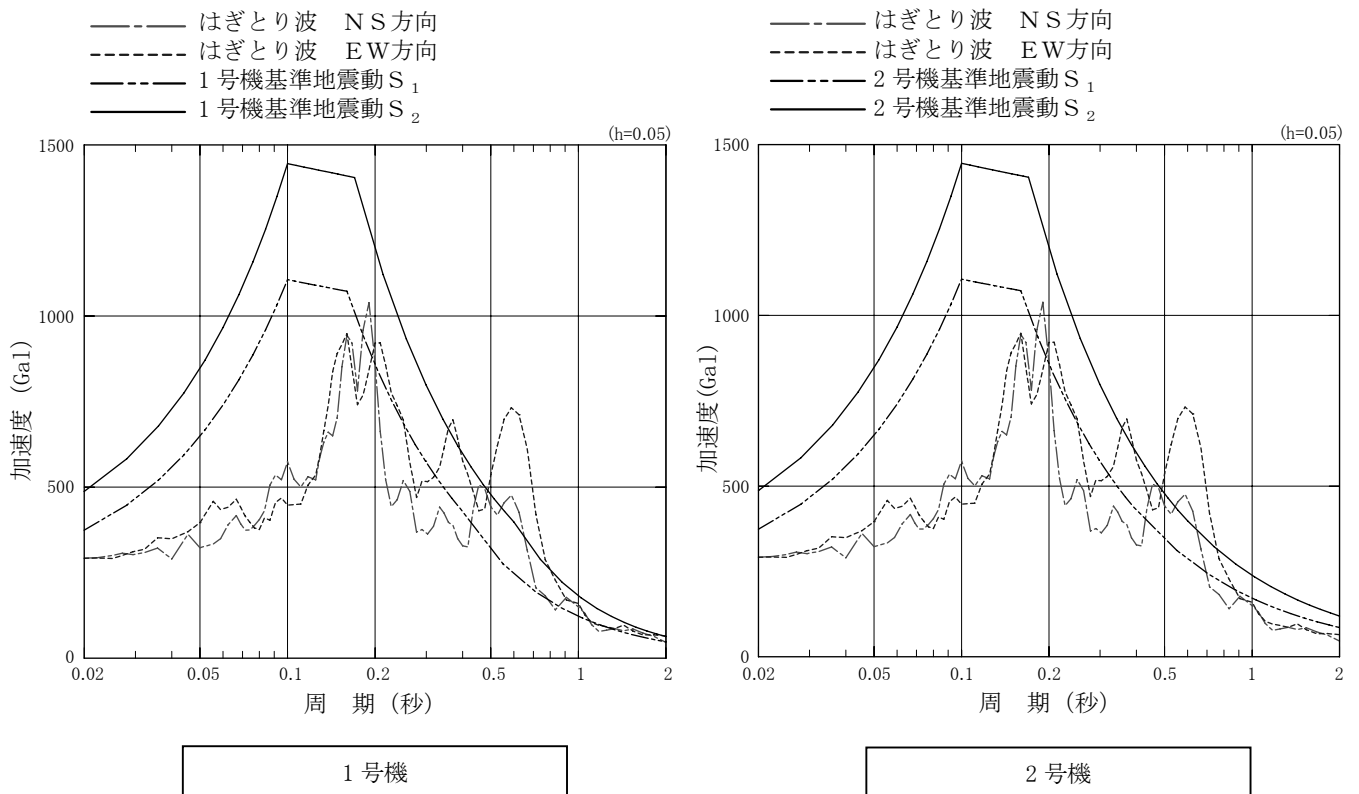
図 2.1 主要施設の耐震健全性の確認フロー



加速度波形 NS方向 MAX=292Gal



加速度波形 EW方向 MAX=292Gal



加速度応答スペクトル

図 2.1.1 はぎとり波の加速度波形および加速度応答スペクトル

2.2 機器・配管(A, A_sクラス)の耐震健全性の確認結果

2.2.1 機器・配管の耐震健全性の確認方法

- (1) 機器・配管の解析に用いる床応答スペクトルの算定にあたっては、建屋をスウェイロッキングモデルとし、解放基盤表面位置のはぎとり波から一次元波動論で評価した地盤応答を入力して地震応答解析を行う。

地震応答解析の概要を 2 号機を例に、タービン建屋について図 2.2.1 に、海水熱交換器建屋については図 2.2.2 に示す。

安全上重要な機器・配管が設置されている階における地震応答解析結果から求めた床応答スペクトルを、1,2 号機タービン建屋について図 2.2.3 および図 2.2.4 に、1,2 号機海水熱交換器建屋については図 2.2.5 および図 2.2.6 に示す。

- (2) 床応答スペクトルを基に機器・配管の固有周期に対応する加速度を求める。
- (3) 設計時に考慮した加速度と比較し、はぎとり波による加速度が下回っているかどうかの確認をする。
- (4) はぎとり波による加速度が設計時に考慮したものを上回っているときは、はぎとり波による発生応力を求め、許容値を下回っていることを確認する。

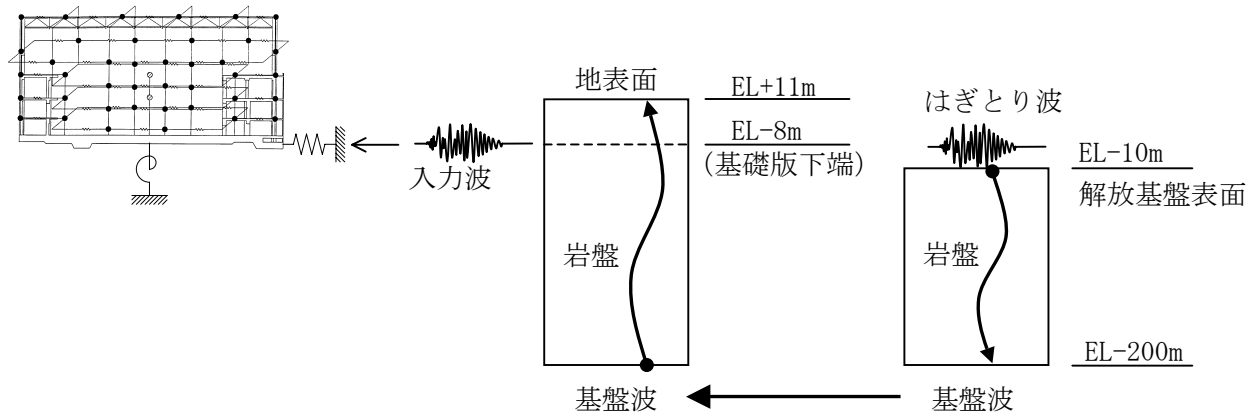


図 2.2.1 はぎとり波を用いた地震応答解析の概要 (2号機タービン建屋の例)

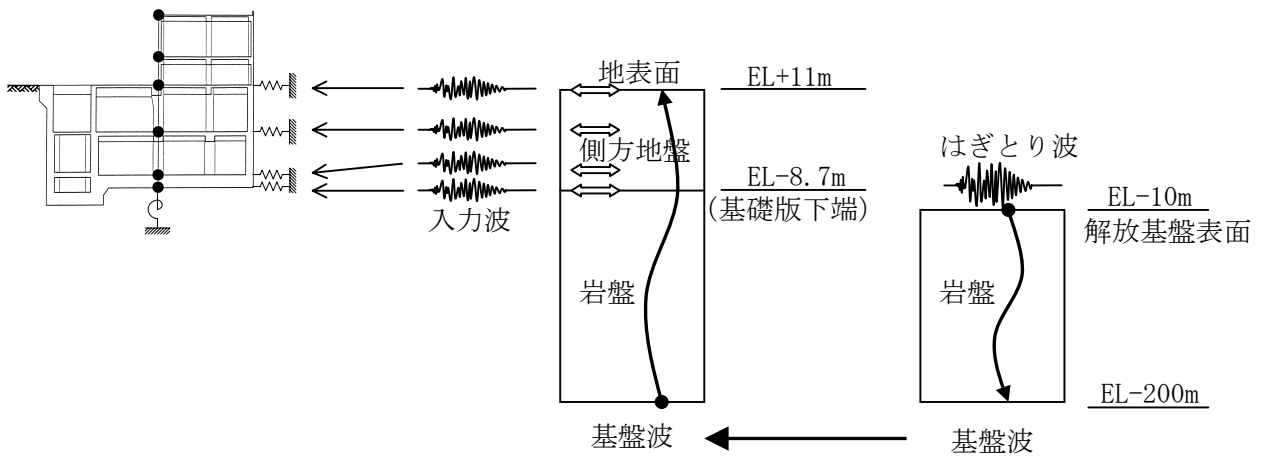
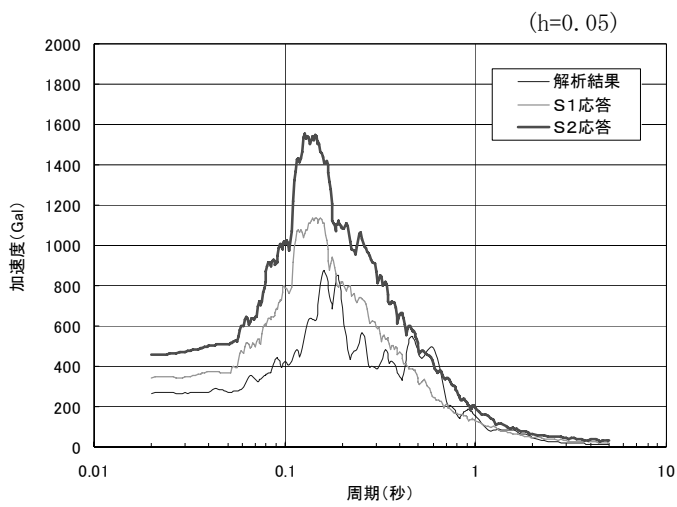
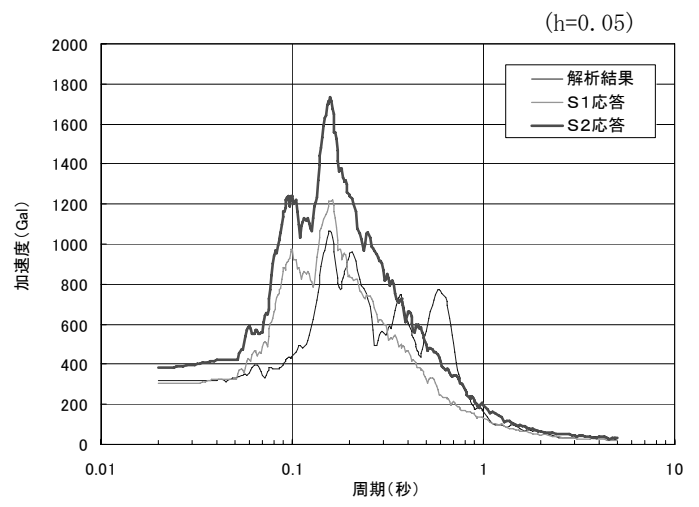


図 2.2.2 はぎとり波を用いた地震応答解析の概要 (2号機海水熱交換器建屋の例)



基礎版上 (EL±0.0m)

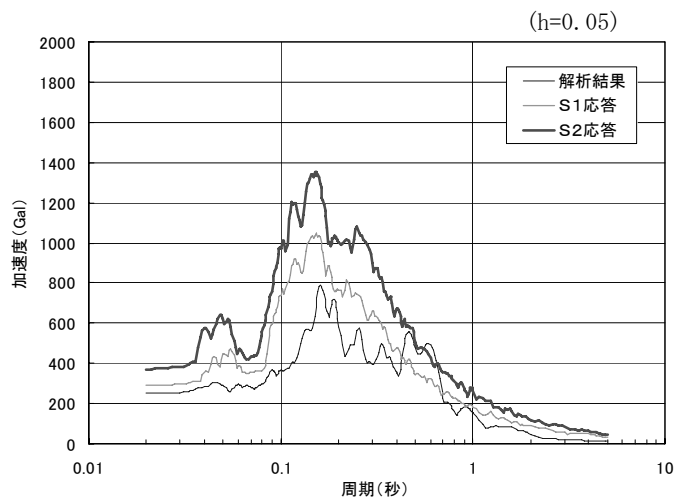
NS方向 床応答スペクトル



基礎版上 (EL±0.0m)

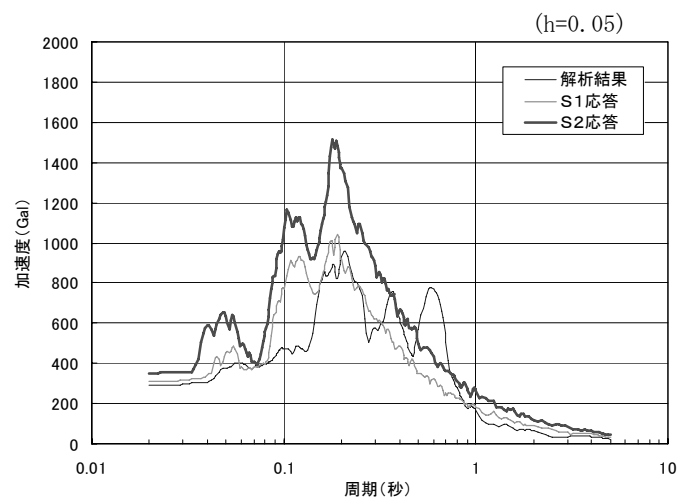
EW方向 床応答スペクトル

図 2.2.3 床応答スペクトル (1号機タービン建屋)
(S_1 , S_2 応答とはぎとり波を用いた解析結果)



基礎版上 (EL-4.4m)

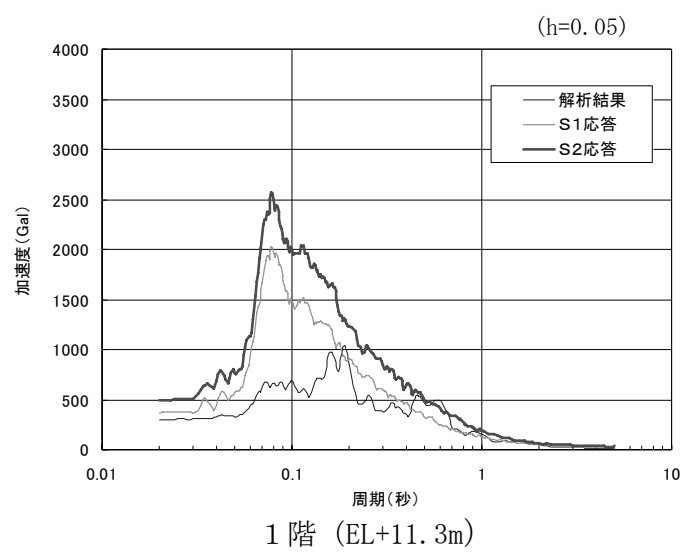
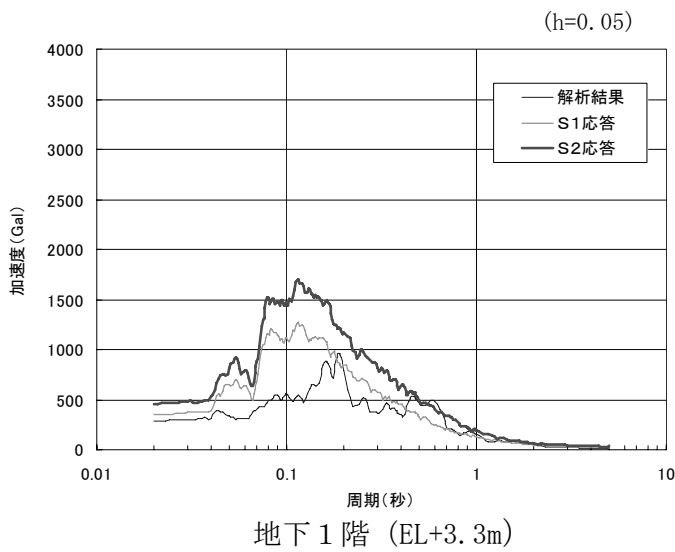
NS方向 床応答スペクトル



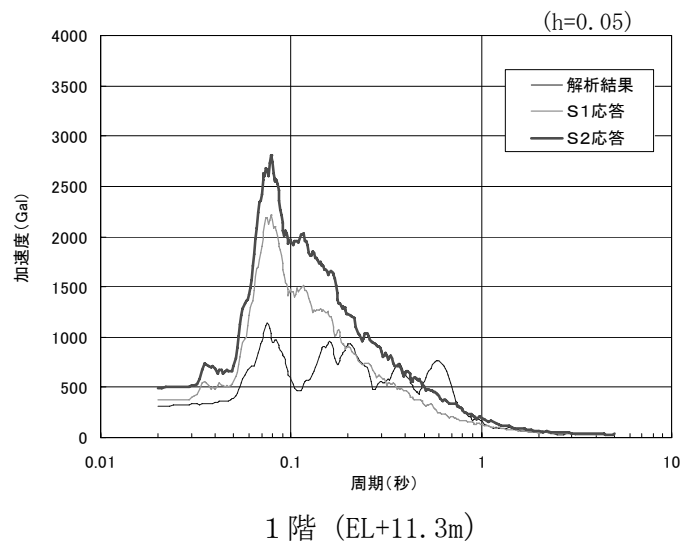
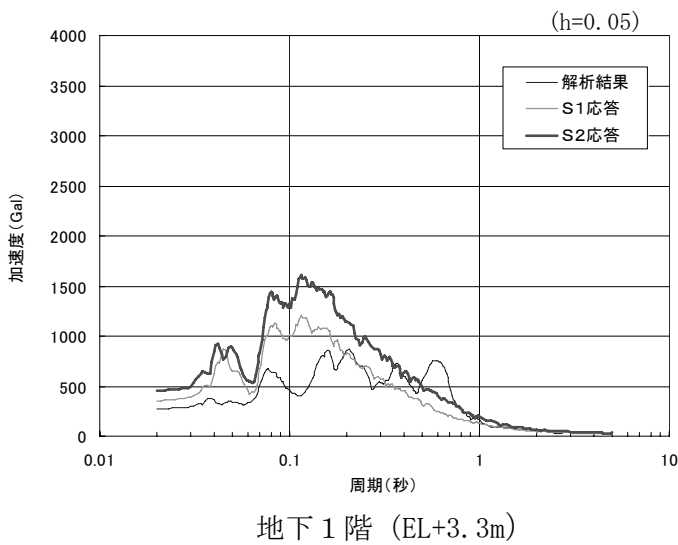
基礎版上 (EL-4.4m)

EW方向 床応答スペクトル

図 2.2.4 床応答スペクトル (2号機タービン建屋)
(S_1 , S_2 応答とはぎとり波を用いた解析結果)

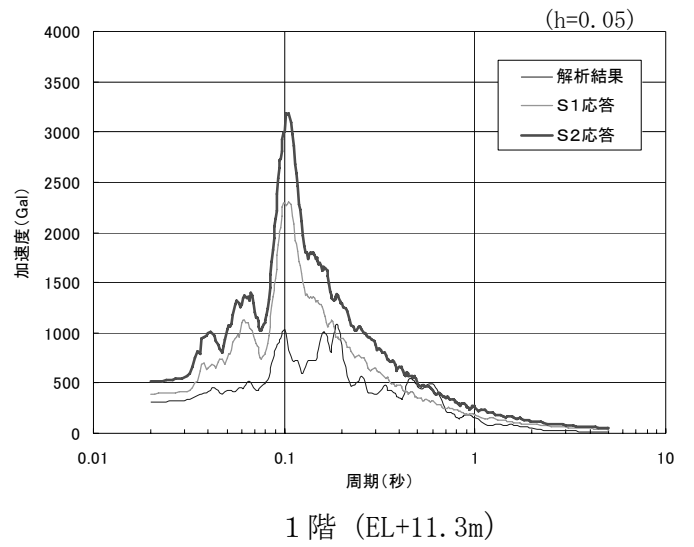
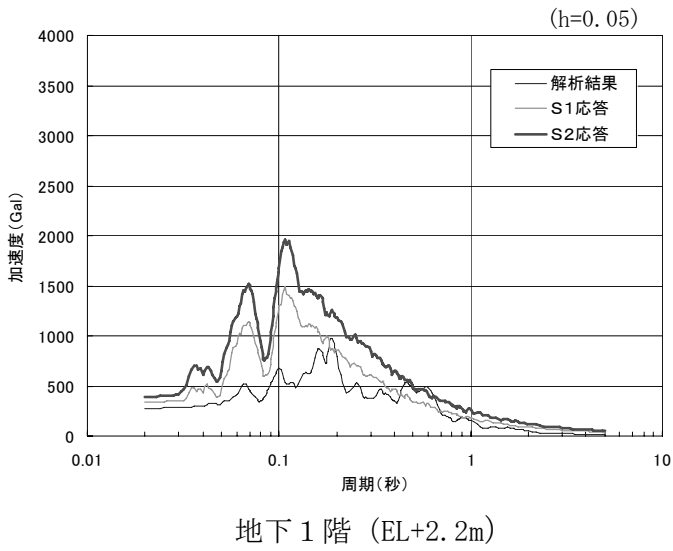


NS方向 床応答スペクトル

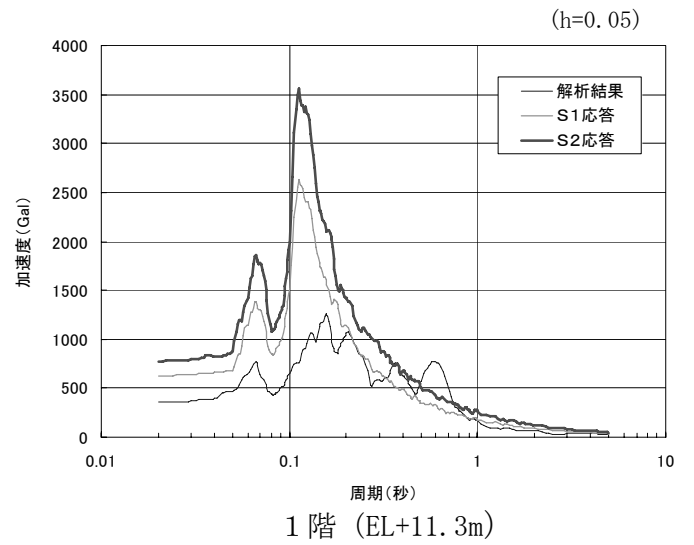
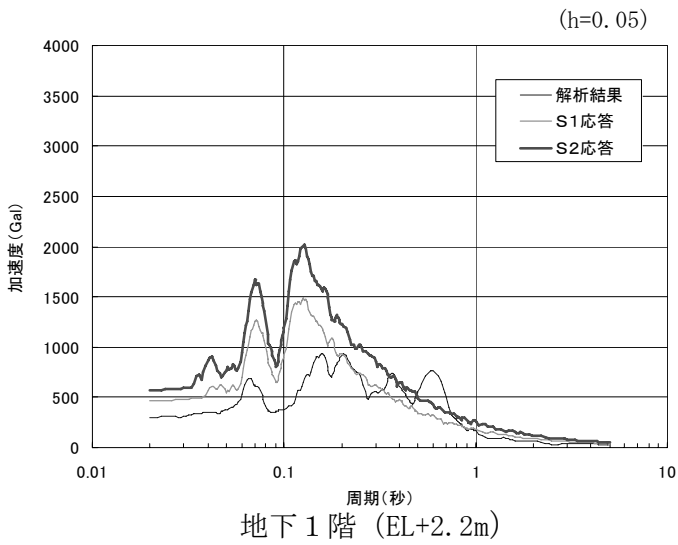


EW方向 床応答スペクトル

図 2.2.5 床応答スペクトル (1号機海水熱交換器建屋)
(S_1 , S_2 応答とはぎとり波を用いた解析結果)



NS方向 床応答スペクトル



EW方向 床応答スペクトル

図 2.2.6 床応答スペクトル (2号機海水熱交換器建屋)
(S_1 , S_2 応答とはぎとり波を用いた解析結果)

2.2.2 機器・配管の耐震健全性の確認

2.2.2.1 固有周期が0.05秒以下の機器・配管の耐震健全性の確認

固有周期が0.05秒以下の安全上重要な機器・配管については、1,2号機海水熱交換器建屋に設置されているものに対して耐震健全性が確保されていることを確認した。なお、1,2号機タービン建屋には固有周期が0.05秒以下の安全上重要な機器・配管は設置されていない。

はぎとり波による1,2号機海水熱交換器建屋の機器・配管設置床の最大加速度と、設計時に考慮した静的震度3.6C_iから求まる加速度を比較して表2.2.1に示す。

はぎとり波による最大加速度は、固有周期が0.05秒以下の剛な機器・配管の設計に考慮した静的震度3.6C_iから求まる加速度を下回っており、これらの機器・配管の耐震健全性は確保されていることを確認した。

2.2.2.2 固有周期が0.05秒を超える機器・配管の耐震健全性の確認

固有周期が0.05秒を超える機器・配管について、はぎとり波による1,2号機タービン建屋および海水熱交換器建屋の地震応答解析の結果を基に今回の地震による加速度を算定し、以下の確認を行った。

- (1) はぎとり波による加速度が設計時に考慮した加速度を下回っているものについては、これら機器・配管の耐震健全性は確保されていることを確認した。なお、この場合、確認結果における発生応力は工認記載値を転記した。
- (2) はぎとり波による加速度が設計時に考慮した加速度を上回っているものについては、各機器・配管に発生する応力を求め、許容値との比較を行った。

その結果を表2.2.2および表2.2.3に示す。これによれば、機器・配管に発生する応力は基準地震動 S_1 に対する許容値以下であり、弾性範囲に十分収まっていることから、これら機器・配管の耐震健全性は確保されていることを確認した。

なお、詳細については別紙-1に示す。

表 2.2.1 固有周期が 0.05 秒以下の機器・配管の耐震健全性確認結果

(1号機海水熱交換器建屋) [Gal]

床レベル	機器・配管	はぎとり波		3.6C i	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
EL+11.3m	・原子炉補機冷却水ポンプ	296	304	717	766
EL+ 3.3m	・原子炉補機冷却水系熱交換器 ・高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水ポンプ，熱交換器 ・原子炉補機冷却海水系配管の一部，ストレナ ・高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系配管の一部，ストレナ	288	275	565	565

(2号機海水熱交換器建屋) [Gal]

床レベル	機器・配管	はぎとり波		3.6C i	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
EL+11.3m	・原子炉補機冷却水ポンプ	308	349	777	777
EL+ 2.2m	・原子炉補機冷却水系熱交換器 ・原子炉補機冷却海水系配管の一部，ストレナ	277	303	565	565

表 2.2.2 固有周期が 0.05 秒を超える機器・配管の耐震健全性確認結果

(1号機タービン建屋)

機器・配管名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	S ₁ 許容値 (N/mm ²)	判定
原子炉補機冷却水系配管	基礎版上	122	233	○
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系配管	基礎版上	86	228	○

(注) 計算値(kg/mm²)をS I単位に換算

(2号機タービン建屋)

機器・配管名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	S ₁ 許容値 (N/mm ²)	判定
原子炉補機冷却水系配管	基礎版上	138	233	○

表 2.2.3 固有周期が 0.05 秒を超える機器・配管の耐震健全性確認結果

(1 号機海水熱交換器建屋)

機器・配管名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	S ₁ 許容値 (N/mm ²)	判定
原子炉補機冷却海水ポンプ	地下1階	17	149	○
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水ポンプ	地下1階	6	114	○
原子炉補機冷却水系配管	地上1階	168	233	○
原子炉補機冷却海水系配管	地上1階	156	205	○
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系配管	地上1階	129	228	○
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系配管	地上1階	156	205	○

(注) 計算値(kg/mm²)をS I 単位に換算

(2 号機海水熱交換器建屋)

機器・配管名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	S ₁ 許容値 (N/mm ²)	判定
原子炉補機冷却海水ポンプ	地下1階	10	118	○
原子炉補機冷却水系配管	地上1階	105	233	○
原子炉補機冷却海水系配管	地上1階	130	241	○

2.3 排気筒の耐震健全性の確認結果

2.3.1 排気筒の耐震健全性の確認方法

- (1) 排気筒の地震応答解析は、解析モデルをスウェイローッキングモデルとし、解放基盤表面位置のはぎとり波から一次元波動論で評価した地盤応答を入力して行う。

地震応答解析の概要を2号機を例に、図2.3.1に示す。

- (2) 地震応答解析により求まる排気筒の曲げモーメントを基に各要素の発生応力を求め、各要素の許容座屈応力度を下回っていることを確認する。

2.3.2 排気筒の耐震健全性の確認

地震応答解析により求めた曲げモーメントを設計時に考慮した曲げモーメントと比較して図2.3.2および図2.3.3に示す。また、曲げモーメントを基に各要素の発生応力を求め、許容座屈応力度に対して発生応力が最も厳しい要素の値を表2.3.1に示す。

これらによれば、はぎとり波により求めた曲げモーメントは設計時に考慮した曲げモーメント以下であり、発生する応力は許容座屈応力度以下となっている。以上より、排気筒は弾性範囲に十分収まっていることから、耐震健全性は確保されていることを確認した。

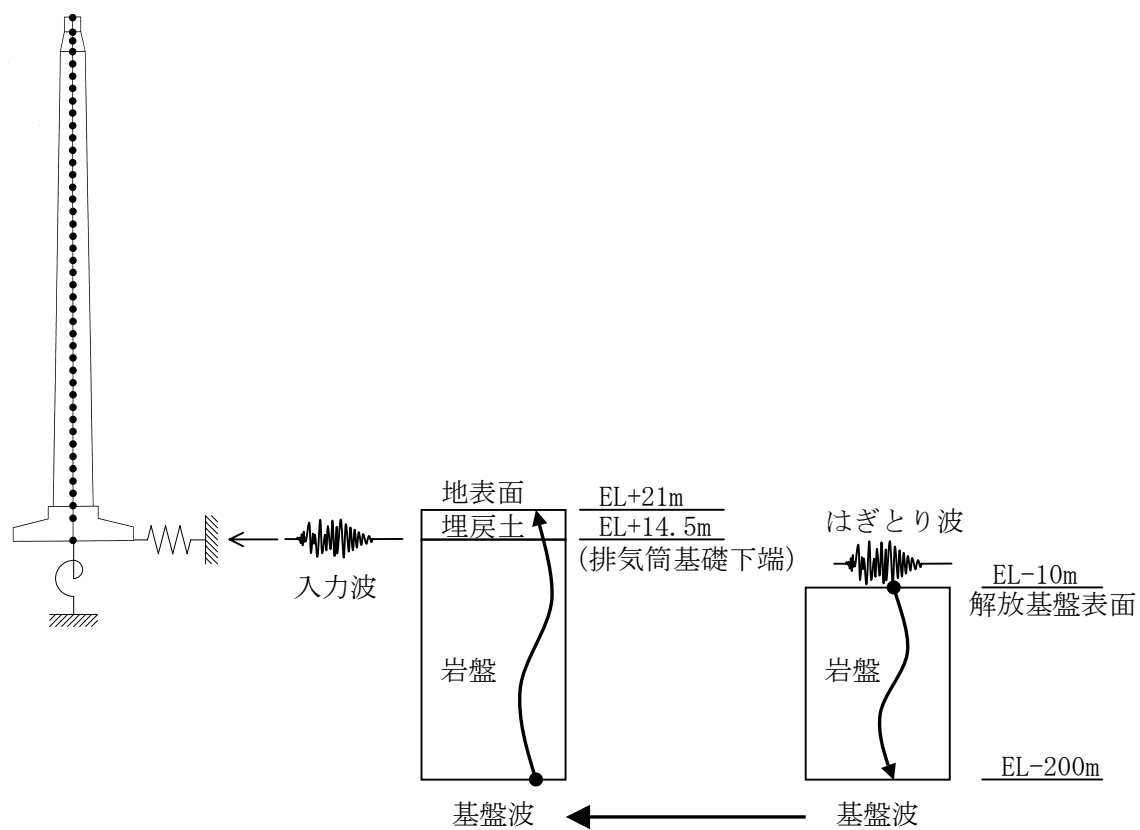


図 2.3.1 はぎとり波を用いた地震応答解析の概要 (2号機排気筒の例)

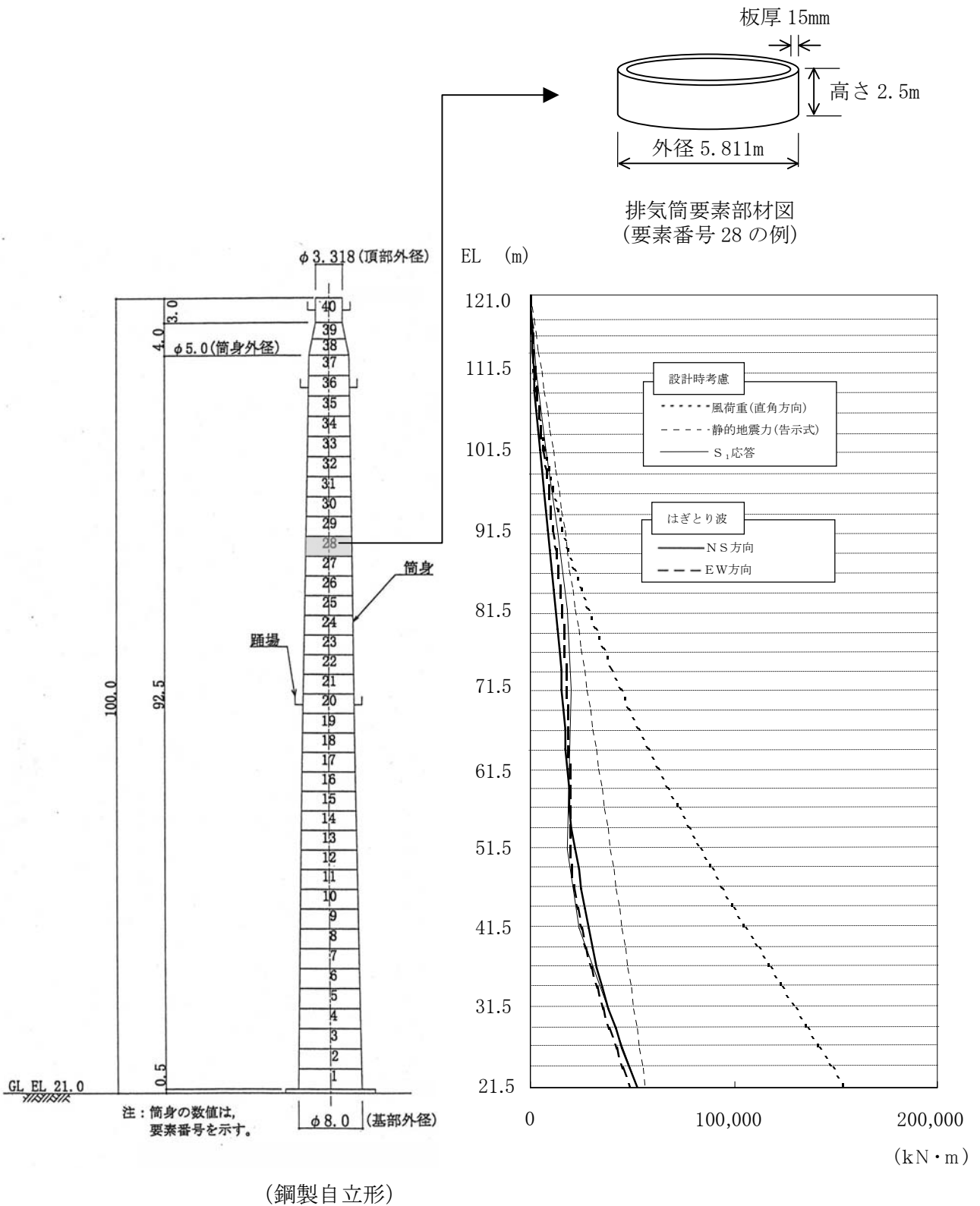


図 2.3.2 はぎとり波による曲げモーメント (1号機排気筒)

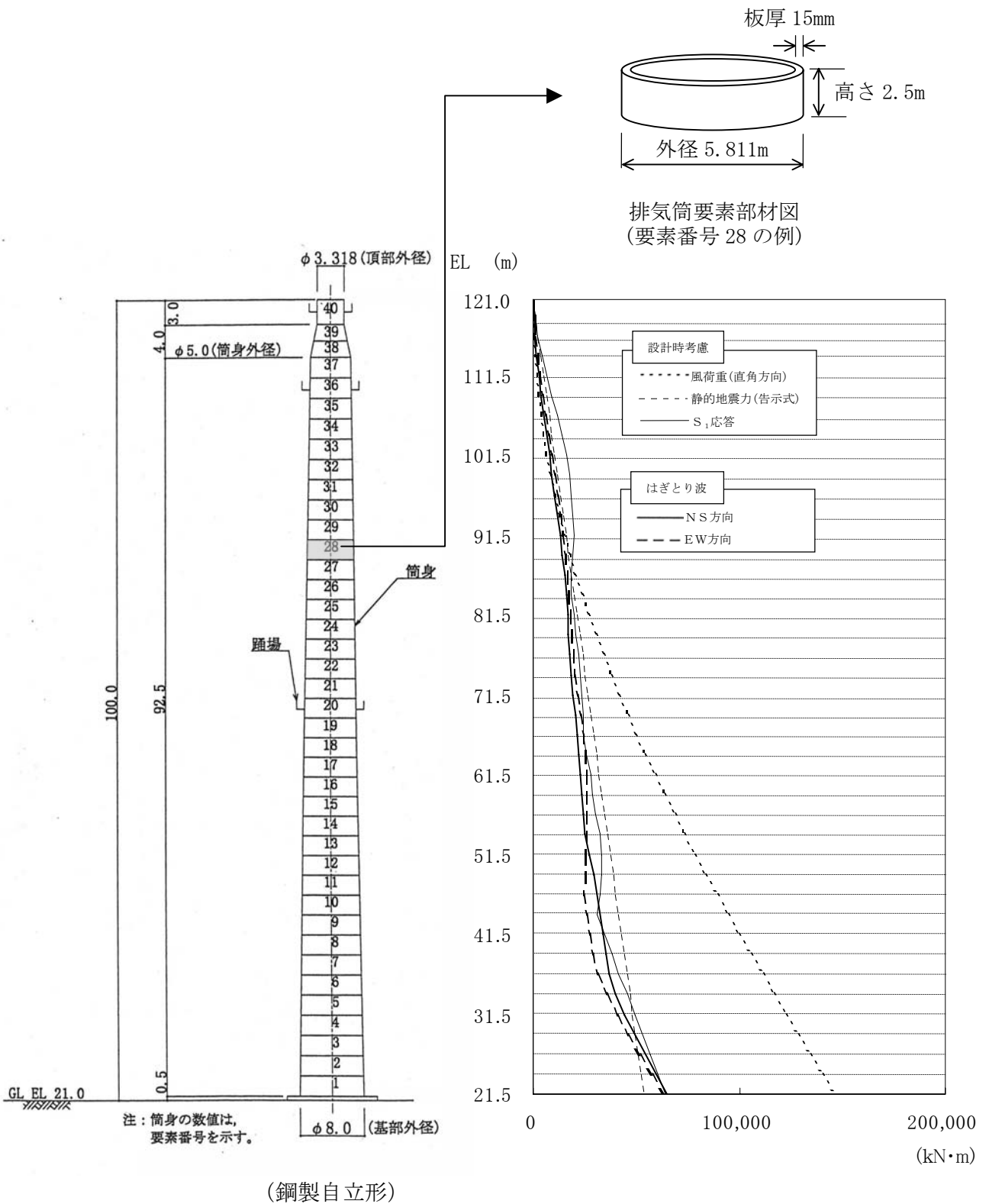


図 2.3.3 はぎとり波による曲げモーメント (2号機排気筒)

表 2.3.1 排気筒の耐震健全性の確認結果

(1号機 排気筒)

要素 番号	板厚 (mm)	発生応力 (N/mm ²)	許容座屈応力度 (N/mm ²)	判定
28	15	33.7	138.7	○

(2号機 排気筒)

要素 番号	板厚 (mm)	発生応力 (N/mm ²)	許容座屈応力度 (N/mm ²)	判定
28	15	42.1	138.7	○

3. 固有周期が長周期である主要施設の耐震安全余裕の確認結果について

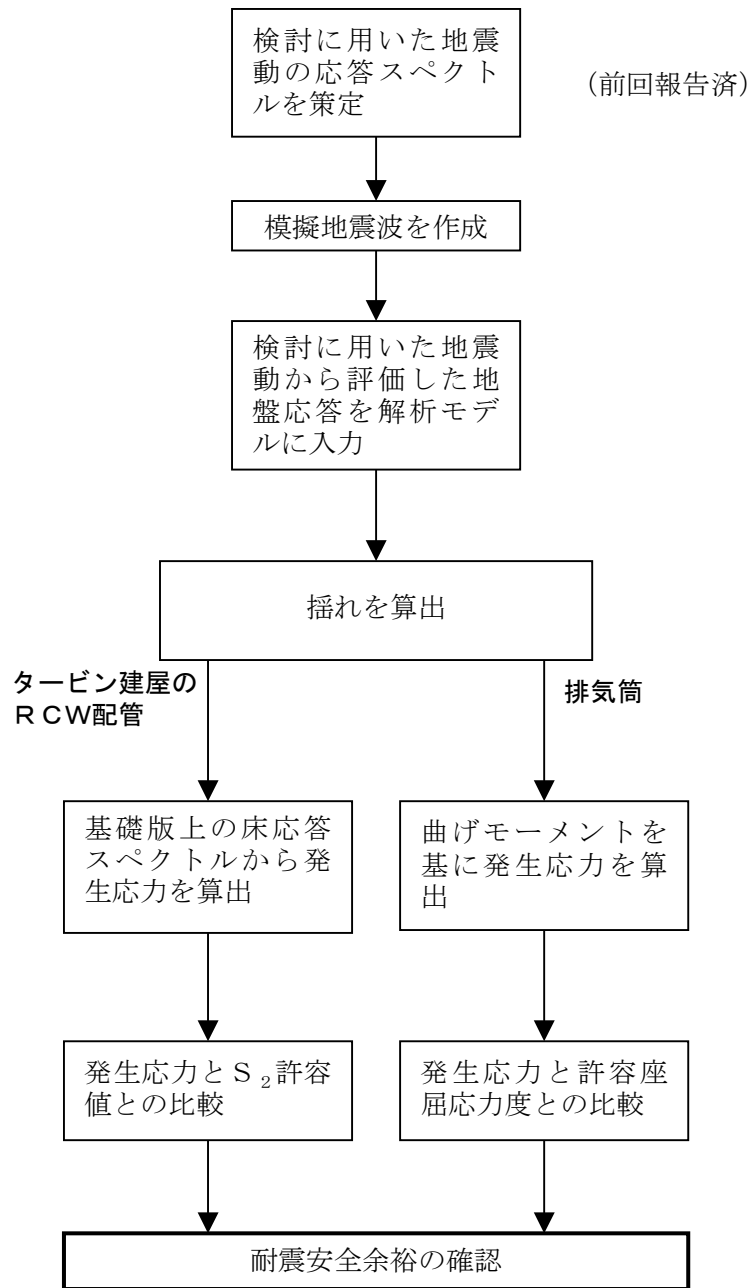
図 2.1.1 に示すとおり、はぎとり波が長周期側の一部の周期帯で基準地震動 S_2 を上回ったことから、念のため長周期側で今回の地震動を上回る地震動を想定し、長周期側の主要施設であるタービン建屋基礎版上に設置されている原子炉補機冷却水系配管および排気筒について耐震安全余裕を有していることを確認した。

耐震安全余裕の確認フローを図 3.1 に示す。

3.1 検討に用いた地震動

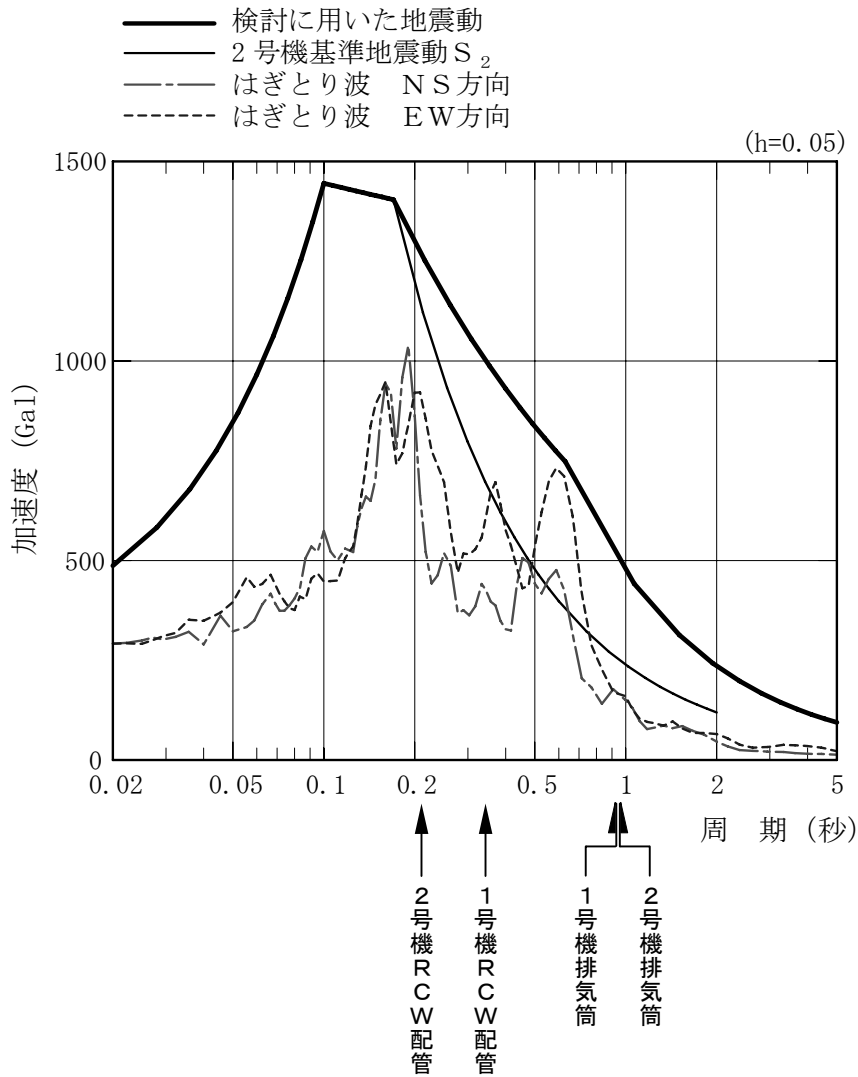
検討に用いた地震動の加速度応答スペクトルおよびこの加速度応答スペクトルに適合するように作成した模擬地震波の加速度波形を図 3.1.1 に示す。

また、原子炉補機冷却水系配管および排気筒の固有周期を表 3.1.1 および表 3.1.2 に示す。



RCW配管：原子炉補機冷却水系配管

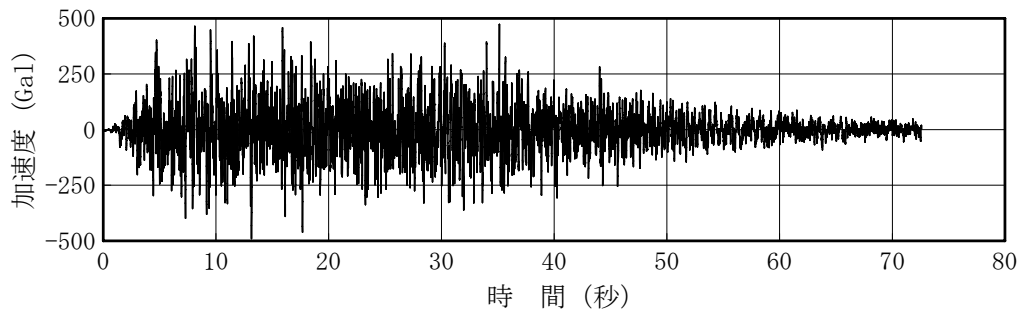
図 3.1 固有周期が長周期である主要施設の耐震安全余裕の確認フロー



RCW配管：原子炉補機冷却水系配管

↑：固有周期が長周期である主要施設の固有周期(表3.1.1および表3.1.2参照)

加速度応答スペクトル



加速度波形 MAX=490Gal

図 3.1.1 検討に用いた地震動の加速度応答スペクトルおよび模擬地震波の加速度波形

表 3.1.1 原子炉補機冷却水系配管の固有周期

名 称		1 次固有周期 (秒)
1 号機	原子炉補機冷却水系配管	0.344
2 号機	原子炉補機冷却水系配管	0.214

表 3.1.2 排気筒の固有周期

名 称		1 次固有周期 (秒)
1 号機	排気筒	0.933
2 号機	排気筒	0.958

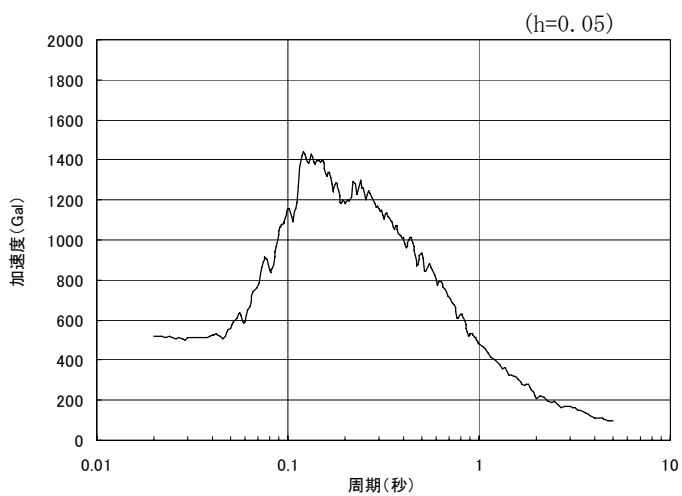
3.2 原子炉補機冷却水系配管の耐震安全余裕の確認結果

3.2.1 配管の耐震安全余裕の確認方法

- (1) 配管の解析に用いる床応答スペクトルの算定にあたっては、図 2.2.1 に示す解析モデルを用いて、検討に用いた地震動から次元波動論で評価した地盤応答を入力して行う。

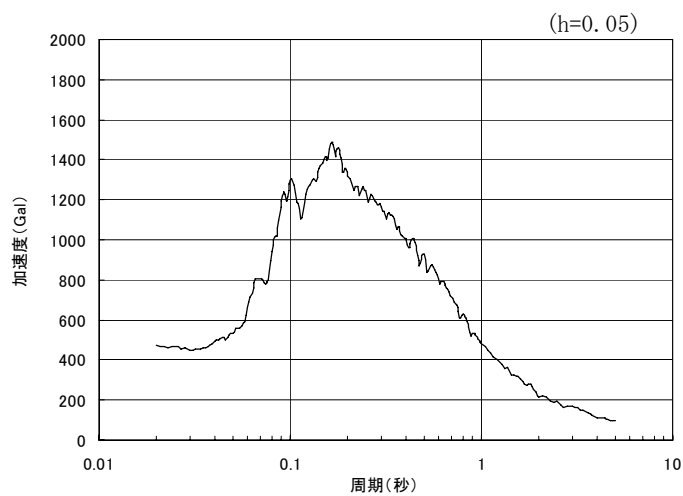
配管が設置されている階における地震応答解析結果から求めた床応答スペクトルを、1,2 号機タービン建屋について図 3.2.1 および図 3.2.2 に示す。

- (2) 床応答スペクトルを基に配管の固有周期に対応する加速度を求める。
- (3) 加速度を基に発生応力を求め、許容値を下回っていることを確認する。



基礎版上 (EL±0.0m)

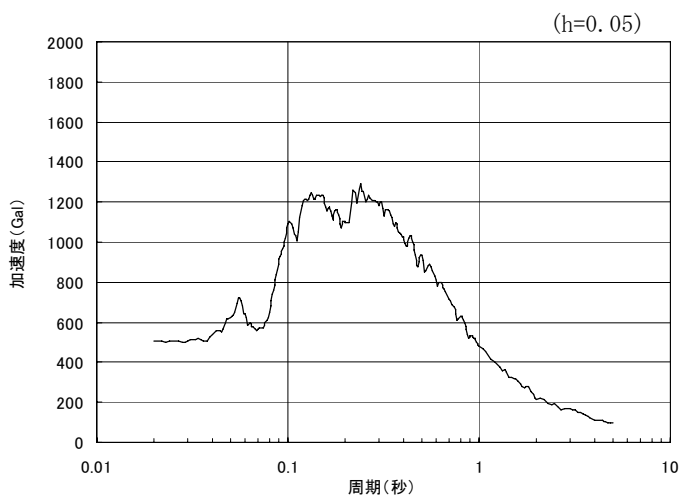
NS方向 床応答スペクトル



基礎版上 (EL±0.0m)

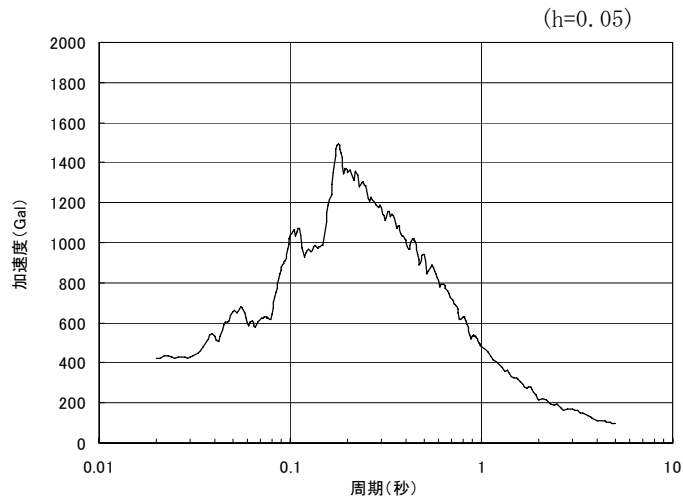
EW方向 床応答スペクトル

図 3.2.1 検討に用いた地震動による床応答スペクトル (1号機タービン建屋)



基礎版上 (EL-4.4m)

NS方向 床応答スペクトル



基礎版上 (EL-4.4m)

EW方向 床応答スペクトル

図 3.2.2 検討に用いた地震動による床応答スペクトル (2号機タービン建屋)

3.2.2 配管の耐震安全余裕の確認

検討に用いた地震動による 1,2 号機タービン建屋の床応答スペクトルから加速度を算定し, 1,2 号機の原子炉補機冷却水系配管に発生する応力を求めて, 許容値と比較した。その結果を表 3.2.2 に示す。

これによれば, 配管に発生する応力は基準地震動 S_2 に対する許容値以下であることから, これら配管について耐震安全余裕を有していることを確認した。

表 3.2.2 原子炉補機冷却水系配管の耐震安全余裕の確認結果

(1号機)

機器・配管名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	S ₂ 許容値 (N/mm ²)	判定
原子炉補機冷却水系配管	タービン建屋基礎版上	184	345	○

(注) 計算値(kg/mm²)をS I単位に換算

(2号機)

機器・配管名称	設置場所	発生応力 (N/mm ²)	S ₂ 許容値 (N/mm ²)	判定
原子炉補機冷却水系配管	タービン建屋基礎版上	170	344	○

3.3 排気筒の耐震安全余裕の確認結果

3.3.1 排気筒の耐震安全余裕の確認方法

- (1) 排気筒の地震応答解析は、図 2.3.1 に示す解析モデルを用いて、検討に用いた地震動から次元波動論で評価した地盤応答を入力して行う。
- (2) 地震応答解析により求まる排気筒の曲げモーメントを基に各要素の発生応力を求め、各要素の許容座屈応力度を下回っていることを確認する。

3.3.2 排気筒の耐震安全余裕の確認

地震応答解析により求めた曲げモーメントを図 3.3.1 および図 3.3.2 に示す。曲げモーメントを基に各要素の発生応力を求め、許容座屈応力度に対して発生応力が最も厳しい要素の値を表 3.3.1 に示す。

これによれば、排気筒に発生する応力は許容座屈応力度以下であることから、排気筒について耐震安全余裕を有していることを確認した。

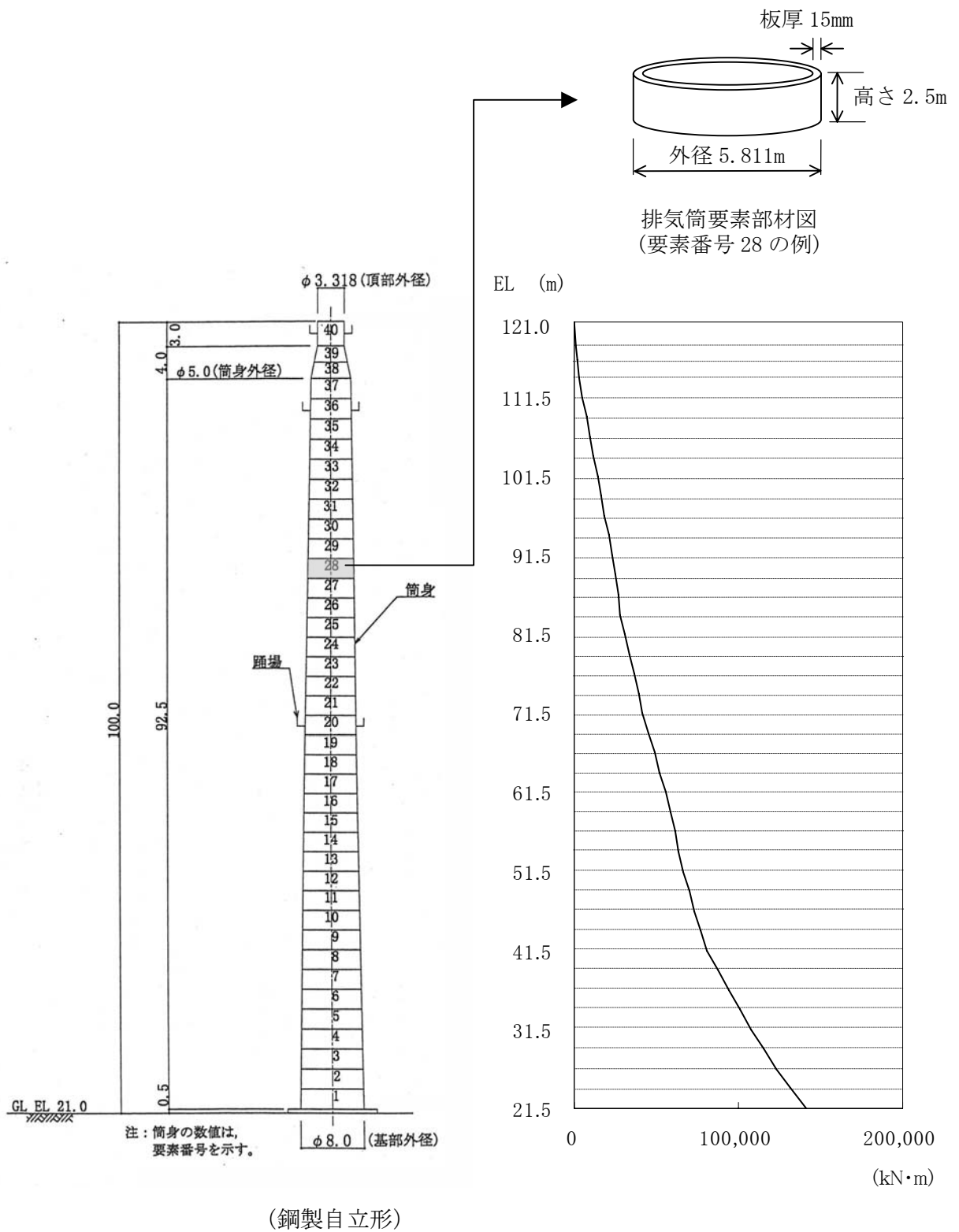


図 3.3.1 検討に用いた地震動による曲げモーメント (1号機排気筒)

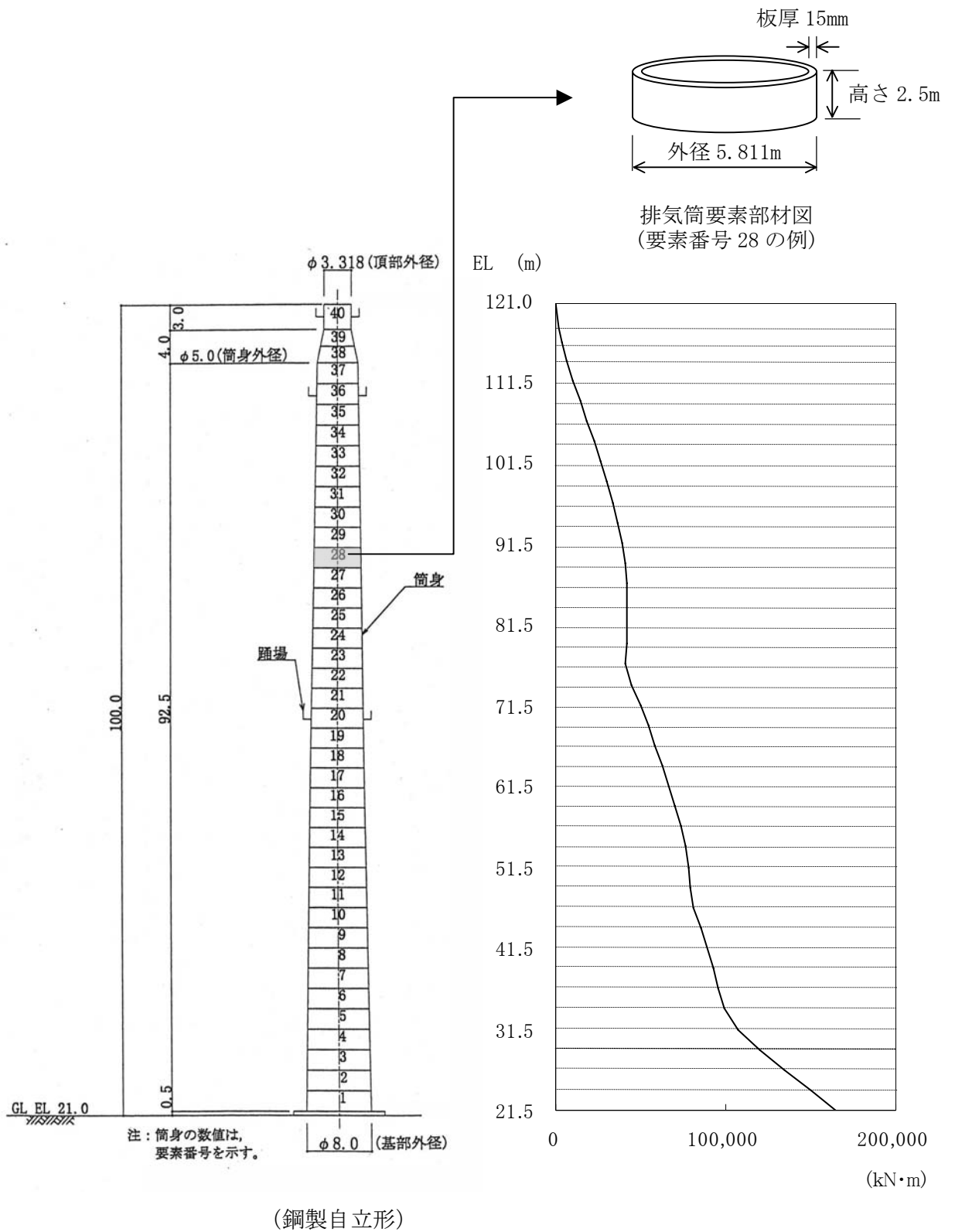


図 3.3.2 検討に用いた地震動による曲げモーメント (2号機排気筒)

表 3.3.1 排気筒の耐震安全余裕の確認結果

(1号機 排気筒)

要素 番号	板厚 (mm)	発生応力 (N/mm ²)	許容座屈応力度 (N/mm ²)	判定
28	15	66.3	138.7	○

(2号機 排気筒)

要素 番号	板厚 (mm)	発生応力 (N/mm ²)	許容座屈応力度 (N/mm ²)	判定
28	15	105.8	138.7	○

4. まとめ

敷地地盤で観測された地震記録から解析的に求めたはぎとり波を基に、前回の報告時点でまだ耐震健全性の確認が終了していなかった1,2号機タービン建屋内および海水熱交換器建屋内の安全上重要な機器・配管や排気筒について確認を実施したところ、各施設とも弾性範囲内に十分収まっており、施設の耐震健全性が確保されていることを確認した。

また、はぎとり波が長周期側の一部で基準地震動 S_2 を上回ったことから、念のため長周期側で今回の地震動を上回る地震動を想定し、長周期側の主要施設であるタービン建屋内に設置されている原子炉補機冷却水系配管および排気筒について耐震安全余裕を有していることの確認を実施したところ、各施設とも発生する応力は各々の施設に要求される許容値以下であったことから、各施設について耐震安全余裕を有していることを確認した。

志賀原子力発電所 1, 2 号機

機器・配管の耐震安全性確認結果について

(追加報告分)

目 次

1. はじめに	1-1
2. 確認対象	1-1
3. 確認方法	1-1
(1)大型機器	1-1
(2)その他機器・配管	1-1
4. 確認結果	1-2
5. まとめ	1-2

1. はじめに

「確認に用いた地震動」及び「検討に用いた地震動」に対する志賀原子力発電所 1, 2 号機の安全上重要な機器・配管の耐震安全性の確認結果についてまとめる。

2. 確認対象

安全上重要な機器・配管（A，A_sクラス）の主要な機器・配管を対象に，各地震動に対する耐震安全性の確認を実施した。

3. 確認方法

(1) 大型機器

地盤－建屋系との連成モデルで地震応答解析を実施する大型機器（原子炉格納容器，原子炉圧力容器）について，各地震動を用いた地震応答解析による地震応答値と基準地震動 S_1 及び S_2 を入力とする工事計画認可時の応答値との比（応答比）を求め，この応答比を工事計画認可時の応力に乗じることにより機器に発生した応力を算定し，許容応力と比較し確認した。（以下「確認手法A」）

(2) その他機器・配管

原子炉格納容器，原子炉圧力容器，炉内構造物以外の機器・配管については，以下の何れかの応答比を求め，この応答比を工事計画認可時の応力に乗じることにより，機器・配管に発生した応力を算定し，許容応力と比較し確認した。（以下「確認手法B」）

- ・ 機器・配管の固有周期範囲内において，各地震動を用いた地震応答解析による機器・配管設置床での床応答スペクトルと基準地震動 S_1 及び S_2 を入力とする工事計画認可時の床応答スペクトルの最大比または震度比
- ・ 機器・配管の固有周期に基づく，各地震動を用いた地震応答解析による床応答スペクトルと基準地震動 S_1 及び S_2 を入力とする工事計画認可時の床応答スペクトル比，または震度比

上記の応答比による確認結果が厳しいものは、工事計画認可時の応力計算手法等を用い機器・配管に発生した応力を算定し、許容応力と比較し確認した。(以下「確認手法C」)

以上の確認の流れを図 1-1 に示す。

4. 確認結果

上記の確認方法に基づき、「確認に用いた地震動」に対する志賀1号機の機器・配管の耐震健全性確認結果を表 1-1 及び表 1-2 に、志賀2号機の機器・配管の耐震健全性確認結果を表 1-3 及び表 1-4 に示す。

なお、確認に使用した手法(前述の確認手法A, B, C)を表 1-1～表 1-4 の備考欄に示す。

表 1-1～表 1-4 に示すとおり、機器・配管に発生した応力は基準地震動 S_1 及び S_2 に対する許容応力値以下であり、確認に用いた地震動に対するこれら機器・配管の耐震健全性は確保されていることを確認した。

また、上記の確認方法に基づき、「検討に用いた地震動」に対する志賀1号機の配管の耐震安全余裕確認結果を表 1-5 に、志賀2号機の配管の耐震安全余裕確認結果を表 1-6 に示す。

なお、確認に使用した手法(前述の確認手法A, B, C)を表 1-5～表 1-6 の備考欄に示す。

表 1-5～表 1-6 に示すとおり、配管に発生した応力は基準地震動 S_2 に対する許容応力値以下であり、これら配管は検討に用いた地震動に対する耐震安全余裕を有していることを確認した。

5. まとめ

確認に用いる地震動及び検討に用いる地震動に対する志賀原子力発電所1, 2号機の安全上重要な機器・配管の耐震安全性は確保されていると判断する。

以 上

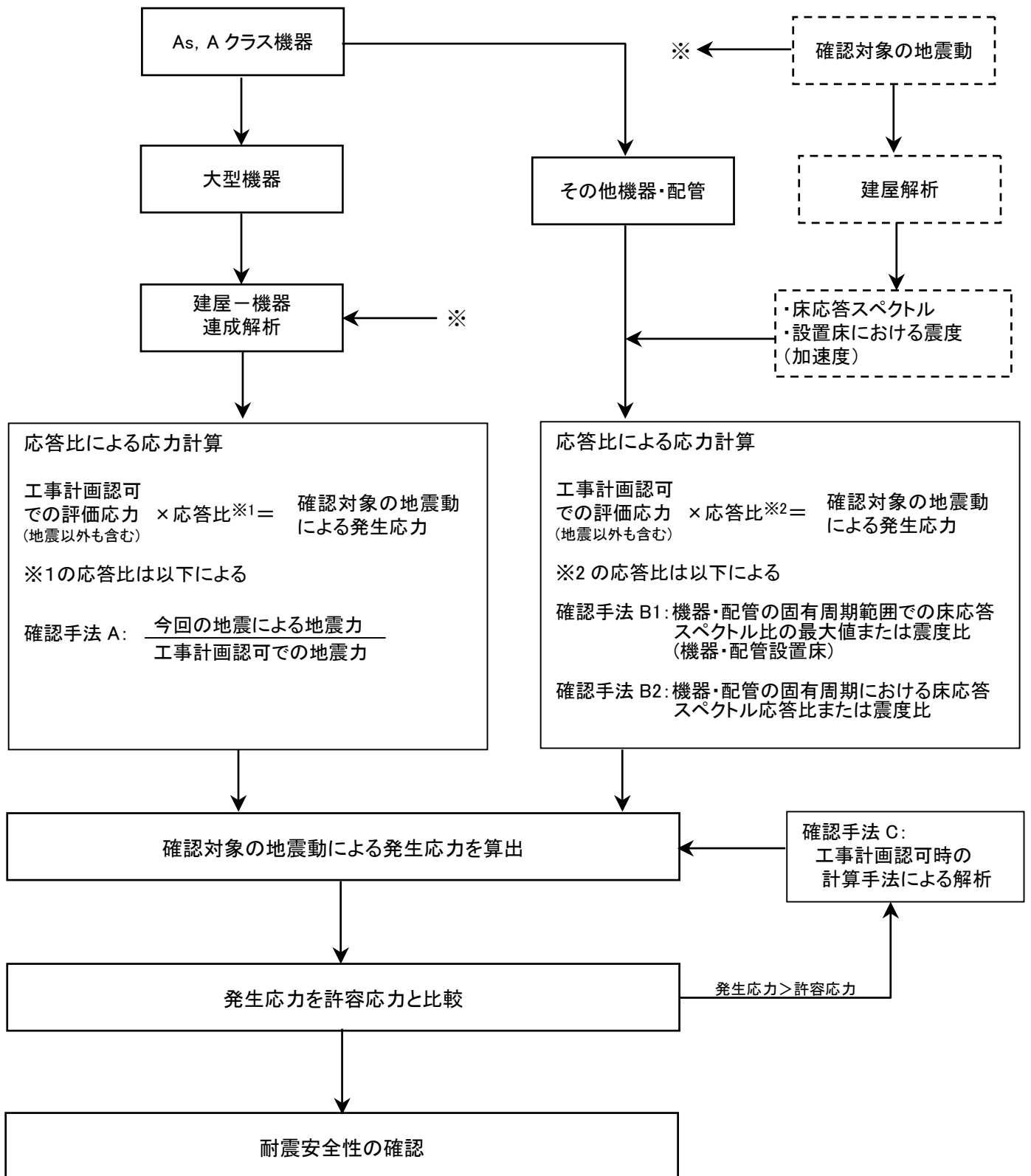


図 1-1 機器・配管の耐震安全性に係る確認の流れ

表1-1 耐震健全性確認結果(1号機:S₁)

確認対象	確認に用いた地震動		判定	備考	
	S ₁ に対する 応答比	発生応力			許容応力(Ⅲ _A S)
		(N/mm ²)			(N/mm ²)
原子炉補機冷却水系熱交換器	1以下	165 (16.8)	371 (37.9)	○	B1
原子炉補機冷却水ポンプ	1以下	8 (0.8)	133 (13.6)	○	B1
原子炉補機冷却海水ポンプ	1以下	17 (1.7)	149 (15.2)	○	B1
原子炉補機冷却海水系ストレーナ	1以下	4 (0.4)	475 (48.5)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系熱交換器	1以下	99 (10.0)	345 (35.2)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水ポンプ	1以下	4 (0.4)	133 (13.6)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水ポンプ	1以下	6 (0.6)	114 (11.7)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系ストレーナ	1以下	6 (0.6)	475 (48.5)	○	B1
原子炉補機冷却水系配管 (RCW-T-2)	1以下	122 (12.4)	233 (23.8)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系配管 (HPCW-T-1)	1以下	86 (8.7)	228 (23.3)	○	B1
原子炉補機冷却水系配管 (RCW-H-1)	1以下	168 (17.1)	233 (23.8)	○	B1
原子炉補機冷却海水系配管 (RSW-H-7)	1以下	156 (15.9)	205 (21.0)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系配管 (HPCW-H-2)	1以下	129 (13.1)	228 (23.3)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系配管 (HPSW-H-5)	1以下	156 (15.9)	205 (21.0)	○	B1

(注) 工事計画認可申請記載値(単位:kg/mm²)と比較するため、計算値(kg/mm²)をSI単位に換算し、括弧内に旧単位を併記した。

表1-2 耐震健全性確認結果(1号機:S₂)

確認対象	確認に用いた地震動		判定	備考	
	S ₂ に対する 応答比	発生応力			許容応力(IV _A S)
		(N/mm ²)			(N/mm ²)
原子炉補機冷却水系熱交換器	1以下	163 (16.6)	406 (41.5)	○	B1
原子炉補機冷却水ポンプ	1以下	6 (0.6)	158 (16.2)	○	B1
原子炉補機冷却海水ポンプ	1以下	17 (1.7)	178 (18.2)	○	B1
原子炉補機冷却海水系ストレーナ	1以下	4 (0.4)	475 (48.5)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系熱交換器	1以下	99 (10.0)	345 (35.2)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水ポンプ	1以下	4 (0.4)	158 (16.2)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水ポンプ	1以下	5 (0.5)	137 (14.0)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系ストレーナ	1以下	5 (0.5)	475 (48.5)	○	B1
原子炉補機冷却水系配管 (RCW-T-2)	1以下	163 (16.6)	345 (35.2)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系配管 (HPCW-T-1)	1以下	102 (10.3)	365 (37.3)	○	B1
原子炉補機冷却水系配管 (RCW-H-1)	1以下	203 (20.7)	345 (35.2)	○	B1
原子炉補機冷却海水系配管 (RSW-H-7)	1以下	205 (20.9)	329 (33.6)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系配管 (HPCW-H-2)	1以下	172 (17.5)	366 (37.4)	○	B1
高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系配管 (HPSW-H-5)	1以下	204 (20.8)	329 (33.6)	○	B1

(注) 工事計画認可申請記載値(単位:kg/mm²)と比較するため、計算値(kg/mm²)をSI単位に換算し、括弧内に旧単位を併記した。

表1-3 耐震健全性確認結果(2号機:S₁)

確認対象	確認に用いた地震動		判定	備考	
	S ₁ に対する 応答比	発生応力			許容応力(Ⅲ _A S)
		(N/mm ²)			(N/mm ²)
原子炉補機冷却水系熱交換器	1以下	58	121	○	B1
原子炉補機冷却水ポンプ	1以下	8	122	○	B1
原子炉補機冷却海水ポンプ	1以下	10	118	○	B1
原子炉補機冷却海水系ストレナ	1以下	4	475	○	B1
原子炉補機冷却水系配管 (RCW-T-7)	1.08	138	233	○	B1
原子炉補機冷却水系配管 (RCW-H-1)	1.09	105	233	○	B1
原子炉補機冷却海水系配管 (RSW-H-15)	1以下	130	241	○	B1

表1-4 耐震健全性確認結果(2号機:S₂)

確認対象	確認に用いた地震動		判定	備考	
	S ₂ に対する 応答比	発生応力			許容応力 (IV _A S)
		(N/mm ²)			(N/mm ²)
原子炉補機冷却水系熱交換器	1以下	72	146	○	B1
原子炉補機冷却水ポンプ	1以下	10	146	○	B1
原子炉補機冷却海水ポンプ	1以下	12	118	○	B1
原子炉補機冷却海水系ストレナ	1以下	5	475	○	B1
原子炉補機冷却水系配管 (RCW-T-7)	1以下	151	344	○	B1
原子炉補機冷却水系配管 (RCW-H-1)	1以下	119	344	○	B1
原子炉補機冷却海水系配管 (RSW-H-13)	1以下	174	354	○	B1

表1-5 耐震安全余裕確認結果(1号機:S₂)

確認対象	検討に用いた地震動		判定	備考	
	S ₂ に対する 応答比	発生応力			許容応力(IV _A S)
		(N/mm ²)			(N/mm ²)
原子炉補機冷却水系配管 (RCW-T-3)	1.62	184 (18.7)	345 (35.2)	○ B1	

(注) 工事計画認可申請記載値(単位:kg/mm²)と比較するため、計算値(kg/mm²)をSI単位に換算し、括弧内に旧単位を併記した。

表1-6 耐震安全余裕確認結果(2号機:S₂)

確認対象	検討に用いる地震動		判定	備考	
	S ₂ に対する 応答比	発生応力			許容応力 (IV _A S)
		(N/mm ²)			(N/mm ²)
原子炉補機冷却水系配管 (RCW-T-1)	1.71	170	344	○	B1