

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

平成19年4月19日
北陸電力株式会社

平成19年3月25日の能登半島地震発生の際、志賀原子力発電所1・2号機は、ともに点検等のため停止中でした。直ちに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について検討を行ってまいりました。本日、耐震安全性の確認結果について、原子力安全・保安院に報告しましたのでお知らせします。

(報告の概要は別紙のとおり)

1. 地震発生後、保安規定に基づいて各施設の保安確認を実施してまいりましたが、これまでのところ異常のないことを確認しております。
2. 敷地地盤や1・2号機原子炉建屋において観測された地震記録を分析した結果、観測した地震動の応答スペクトルが基準地震動 S_2 を長周期側の一部の周期帯において超えている部分がありましたが、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。
また、念のため、志賀原子力発電所1・2号機の原子炉建屋で観測された地震記録に基づいて原子炉建屋及び同建屋内の安全上重要な機器について検討した結果、各施設とも弾性範囲内に十分収まっており、施設の健全性が十分確保されていることを確認しました。
3. 以上のことから、今回の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ため、これまでの耐震設計に問題はないものと考えています。
4. なお、今回の地震では長周期側の一部の周期で基準地震動 S_2 を上回ったことから、念のため当該周期で基準地震動 S_2 を上回る地震動を想定し、長周期側の主要施設の耐震安全性を確認してまいります。
5. また、現在、別途「新耐震指針に照らした耐震安全性評価」を進めていますが、今回の地震に関しては各種研究機関で調査研究が開始されており、当社としても今後これらの機関から公表される報告も含め十分な調査を行い、新しい知見が得られれば、評価に反映してまいります。

このため、10月に予定していた上記評価に関する報告書の提出は、遅れる見込みと考えております。

以上

「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）」の概要

1. はじめに

- ・平成19年3月25日に能登半島地震が発生し、志賀町で震度6弱を記録。
- ・志賀原子力発電所1・2号機は、ともに点検等のため停止中。
- ・地震発生後、各施設の巡視・点検や原子炉施設の作動試験等を実施するとともに、敷地地盤や1・2号機原子炉建屋において観測された地震記録の分析、およびこれらを用いた耐震安全性について検討を実施した。
- ・今回、観測記録の分析結果および施設の耐震安全性確認結果を報告する。

2. 地震の概要（図-1）

- ・発生日時：平成19年3月25日9時42分頃
- ・規模：マグニチュード6.9
- ・志賀原子力発電所との距離：震央距離約18km、震源距離約21km

3. 施設の保安確認状況

- ・地震発生直後から現場の保安確認として、施設の巡視・点検を行い、使用済燃料貯蔵プールからの水飛散、変圧器放圧装置動作、水銀灯の落下等が確認されたが、安全上問題となるものはなかった。
- ・志賀1・2号機は保安規定に基づき、停止状態での機能要求がある非常用炉心冷却系ポンプ等の作動試験や原子炉棟の気密性能試験等の安全確保上重要な設備の機能試験を実施し、異常はなかった。
- ・引き続き、志賀1・2号機の定期検査にあわせ、機能要求のある設備・系統の作動試験・機能試験を実施していく。

4. 岩盤における観測記録に基づく耐震安全性確認について

- ・基準地震動^{※1}を設定している解放基盤表面^{※2}での地震動を算定したところ、この地震動による応答スペクトル^{※3}は長周期側の一部の周期帯において基準地震動 S_2 を超えている部分があった。
- ・しかしながら、志賀原子力発電所では安全上重要な施設^{※4}のほとんどは剛構造としているため、これらの固有周期^{※5}は短周期側に集中している。また、この地震動による応答スペクトルが基準地震動 S_2 を上回る周期帯には、安全上重要な施設がないことを確認した。（図-2）

5. 原子炉建屋、機器・配管の耐震健全性確認について

念のため、志賀1・2号機の原子炉建屋で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（A、Asクラス）が今回の地震によって受けた力を評価し、耐震健全性が確保されていることを確認した。

5.1 原子炉建屋の耐震健全性の確認結果について

- ・志賀1・2号機原子炉建屋について、今回の地震において原子炉建屋基礎版上で観測された記録を用いて地震応答解析を実施し、建屋に生じたせん断変形や力を求め、設計に考慮した値と比較した。
- ・解析により求められた各階のせん断変形角^{※6}は、壁のひび割れが発生する変形角の目安値 ($0.2\sim 0.3\times 10^{-3}\text{rad}$) 以下であり、原子炉建屋は弾性範囲^{※7}に十分収まっていることを確認した。(図-3)
- ・また、各階の最大せん断力など、今回の地震で建屋に生じた力は設計で考慮した地震力を下回っており建屋の耐震健全性が確保されていることを確認した。

5.2 機器・配管の耐震健全性の確認結果について (表-1)

- ・原子炉建屋内の安全上重要な機器・配管について、今回の地震観測記録または原子炉建屋基礎版上での観測記録を用いた地震応答解析結果を用いてそれぞれの機器・配管に加わる力を求め、設計で考慮した地震力やそれぞれの設備に求められる許容値と比較した。
- ・今回の地震により、それぞれの機器・配管に発生した応力が基準地震動 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・配管の耐震健全性が確保されていることを確認した。

6. まとめと今後の取り組み

- ・志賀原子力発電所では、地震発生直後から保安規定に基づき、施設の保安確認を実施し異常のないことを確認した。また、原子炉建屋での観測記録を基に原子炉建屋および同建屋内の安全上重要な機器・配管の耐震健全性が確保されていることを確認した。以上のことから、今回の地震を踏まえても志賀原子力発電所の耐震安全性は確保されている。
- ・今回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の機器・配管を対象に原子炉建屋での観測記録を基に健全性を確認した結果を報告したが、引き続き、まだ評価が終了していない主要施設等について、敷地地盤で観測されたはざとり波を基に確認作業を継続していく。
- ・今回の地震では長周期側の一部の周期で基準地震動 S_2 を上回ったことから、念のため当該周期で基準地震動 S_2 を上回る地震動を想定し、まだ評価が終了していない長周期側の主要施設(原子炉補機冷却水系配管や排気筒)の耐震安全性を確認する。(図-4)
- ・なお、別途、現在「新耐震指針に照らした耐震安全性評価」を進めているが、今回の地震に関しては各種研究機関で調査研究が開始されており、当社としても今後これらの機関から公表される報告も含め十分な調査を行い、新しい知見が得られれば、評価に反映していく。

以上

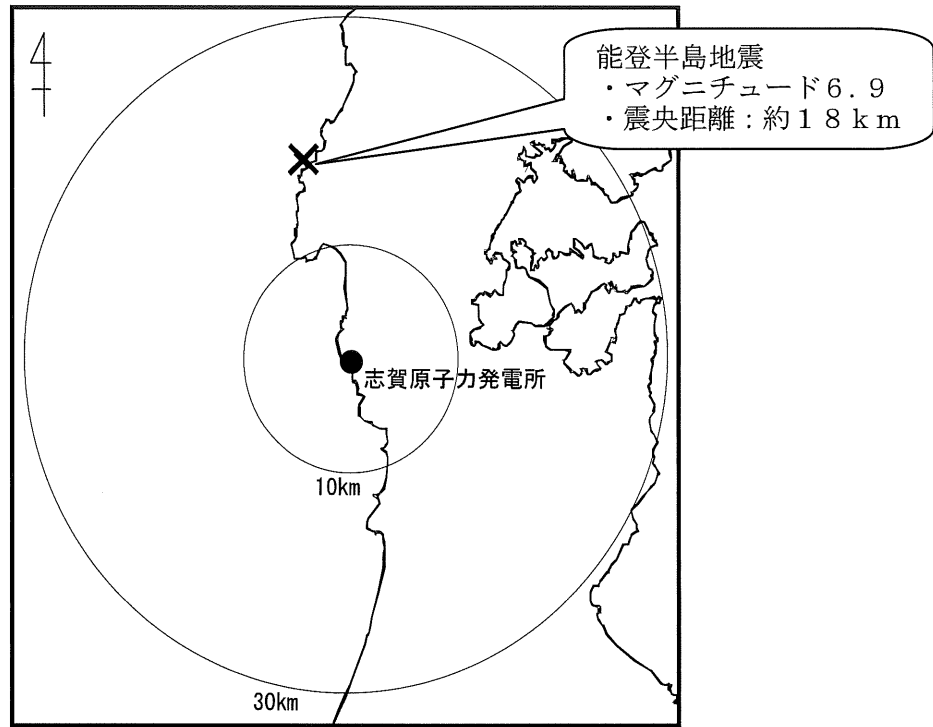


図-1 地震の概要

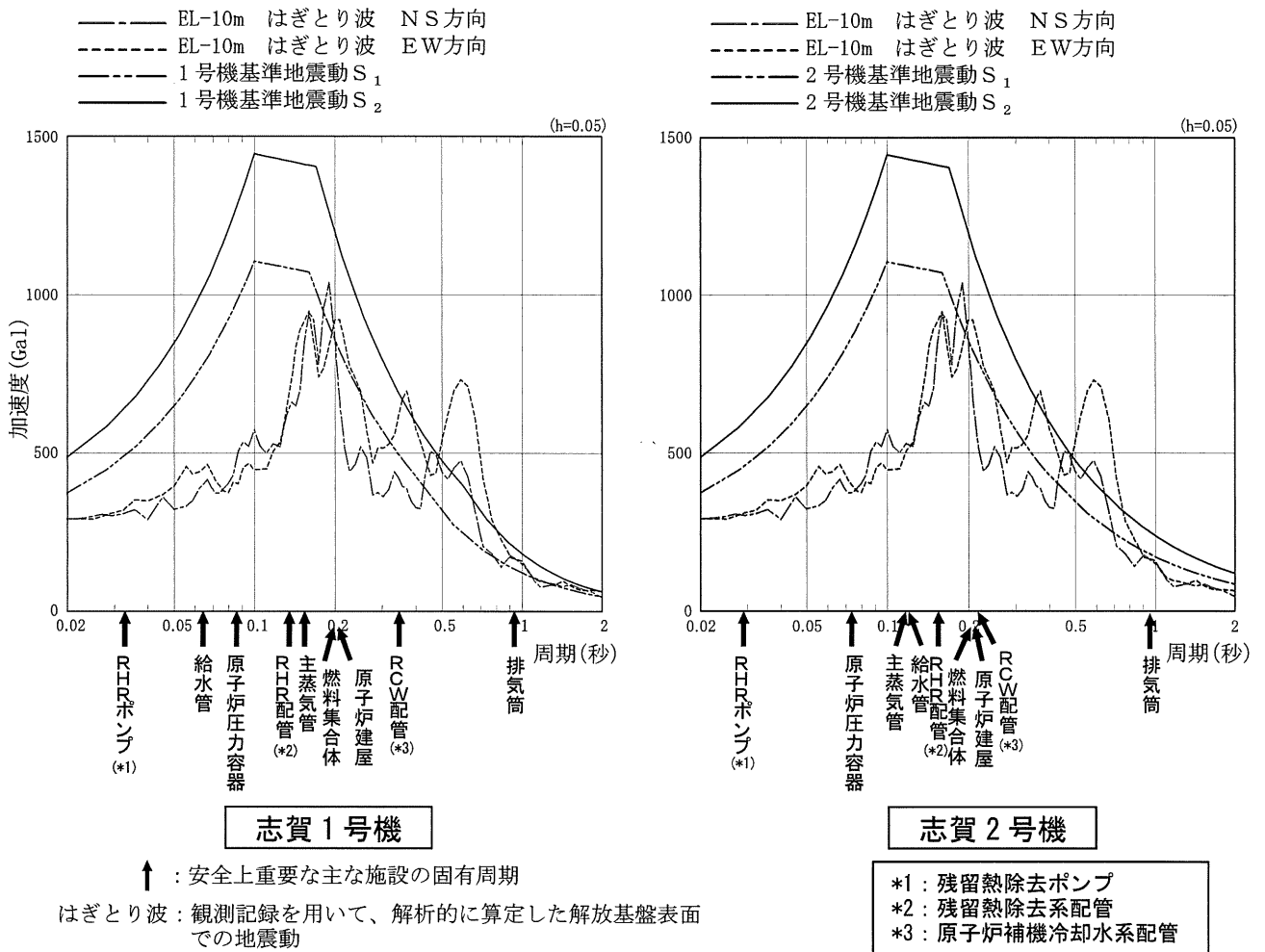


図-2 観測された地震動と基準地震動の比較

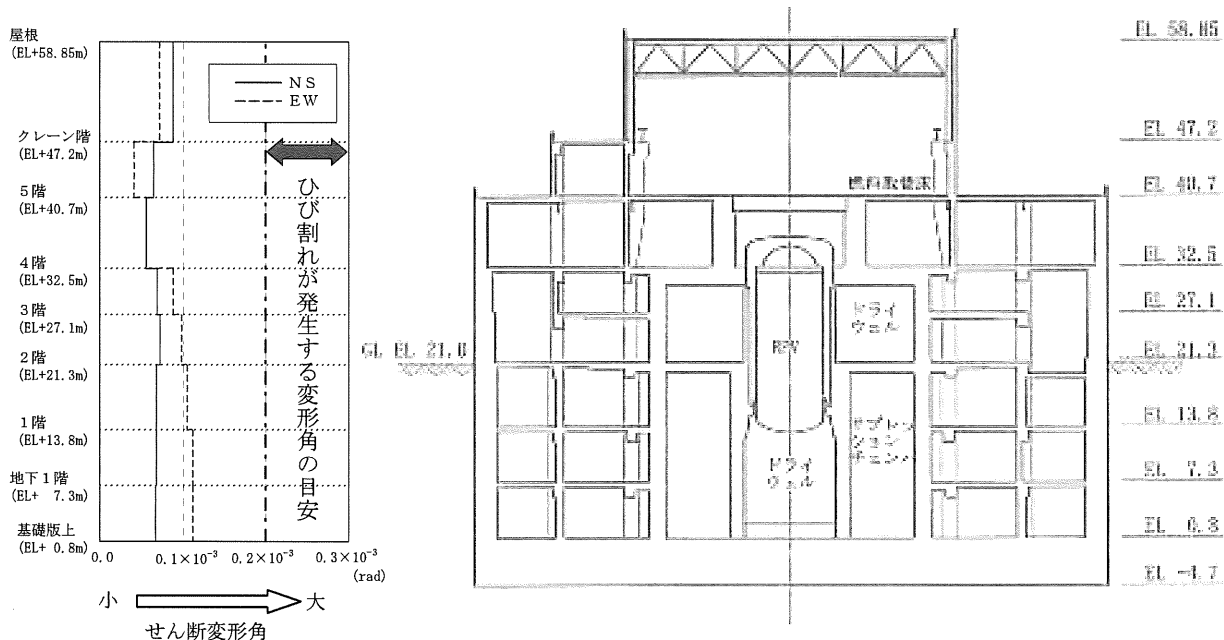


図-3 原子炉建屋健全性確認結果（せん断変形角）（2号機の例）

表-1 安全上重要な機器・配管に発生した応力値（2号機の例）

名称	発生応力 (N/mm ²)	S ₁ 許容値 (N/mm ²)	判定
使用済燃料貯蔵ラック	90	153	○
原子炉冷却材浄化系配管	78	182	○
残留熱除去系配管	180	209	○
高圧炉心注水系配管	84	188	○
復水給水系配管	151	182	○
非常用ガス処理系配管	78	214	○
制御棒駆動系配管	130	159	○
燃料プール冷却浄化系配管	69	188	○
不活性ガス系配管	129	201	○

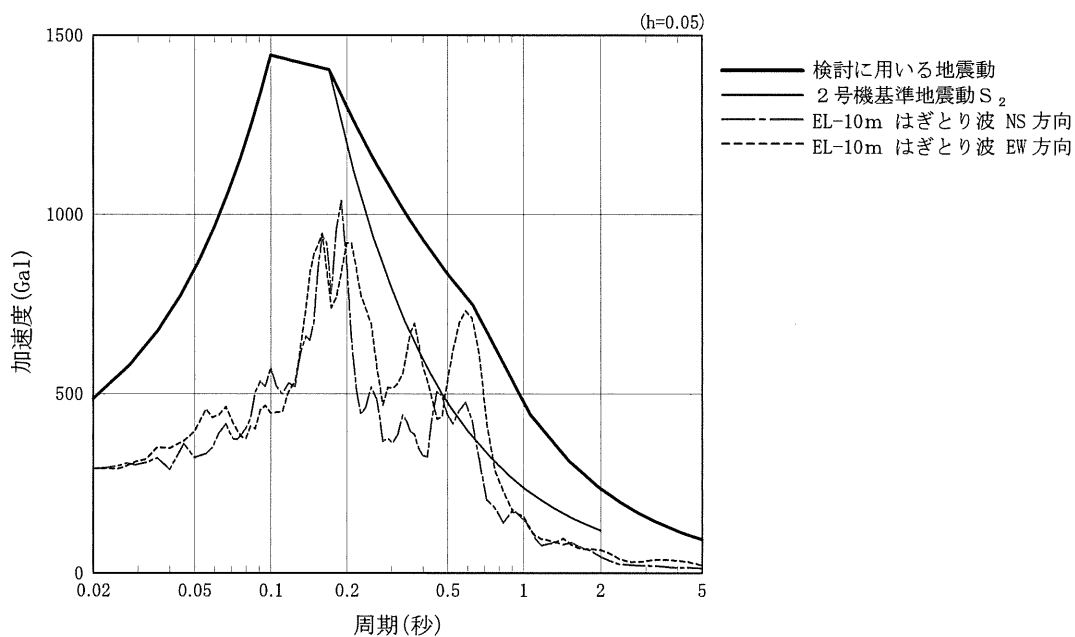


図-4 検討に用いる地震動

(※1) 基準地震動

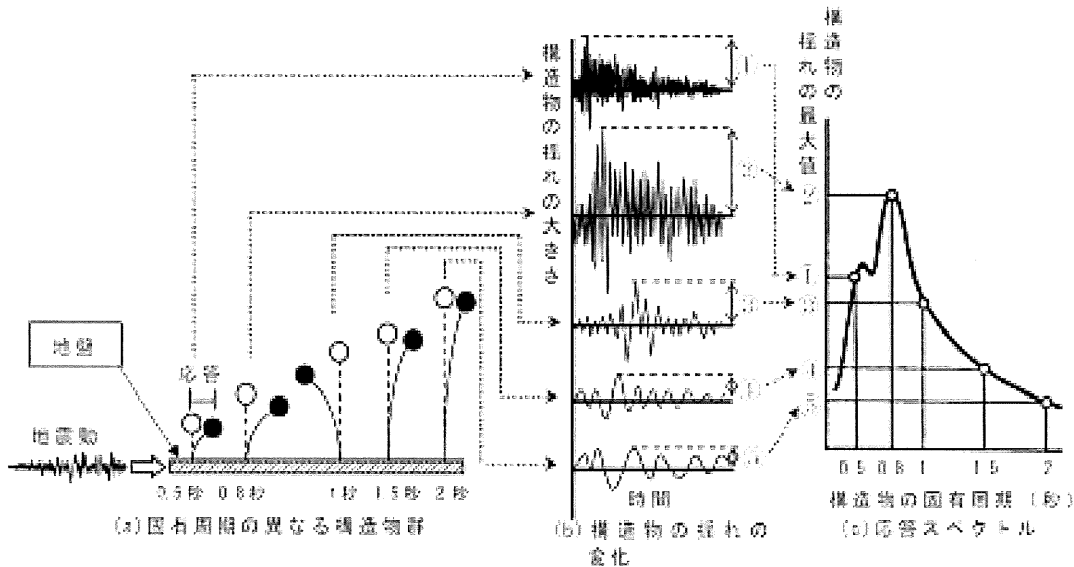
原子力発電所では、基準地震動 S_1 と基準地震動 S_2 の2種類の地震動を用いて耐震設計を行っている。基準地震動 S_1 とは、工学的見地から起こることを予期することが適切と考えられる地震によってもたらされる地震動をいい、過去の地震と活動度の高い活断層による地震を考慮して設定している。また、基準地震動 S_2 とは、地震学的見地に立てば基準地震動 S_1 を超える地震の発生が否定できない場合があるので、このような地震が将来再び起こると仮定した地震によってもたらされる地震動をいい、活動性が低い活断層による地震等から想定される大きな地震、ならびにマグニチュード6.5の直下地震を考慮して設定している。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。

(※2) 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。

(※3) 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。



(※4) 安全上重要な施設

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。安全上重要な施設とは、これらのAクラス及びAsクラスを指す。

(※5) 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。

(※6) せん断変形角

せん断変形角は、地震によって建屋の各階に生ずる変形量のうち、せん断力による変形量を示す指標であり、基準面からのずれの大きさを角度で表わしたもの。

(※7) 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。

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）

平成 19 年 4 月 19 日

北陸電力株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 地震の概要	2
3. 施設の保安確認状況	3
3.1 保安確認の実施状況	3
4. 岩盤における観測記録に基づく耐震安全性確認について	5
4.1 岩盤における観測記録	5
4.2 観測記録に基づく耐震安全性確認	5
5. 原子炉建屋，機器・配管の耐震健全性確認について	10
5.1 原子炉建屋における観測記録	10
5.2 原子炉建屋の耐震健全性の確認結果について	17
5.3 機器・配管(A, A sクラス)の耐震健全性の確認結果について	31
6. まとめと今後の取り組み	35
6.1 保安確認状況	35
6.2 志賀原子力発電所の耐震安全性	35
6.3 今後の取り組み	35

[添付資料]

- 1 「志賀1号機 使用済燃料貯蔵プール水の飛散状況」
- 2 「志賀1,2号機 変圧器放圧装置動作」
- 3 「志賀2号機 原子炉建屋 水銀灯の落下状況」
- 4 「志賀2号機 低圧タービンロータの位置ずれ」
- 5 「志賀2号機 タービン建屋 地上2階床底面のコンクリートの剥がれ状況」
- 6 「工学的安全施設等の作動試験について」
- 7 「安全確保上重要な設備の機能試験について」
- 8 「原子炉安全上の点検・評価」

[別紙]

- 1 「志賀原子力発電所 敷地地盤における地震観測記録について」
- 2 「志賀原子力発電所 1,2号機 地震観測記録を用いた原子炉建屋の地震応答解析について」
- 3 「志賀原子力発電所 1,2号機 機器・配管の耐震健全性確認結果について」

1. はじめに

平成 19 年 3 月 25 日に能登半島地震が発生し、志賀町で震度 6 弱を記録しました。志賀原子力発電所 1, 2 号機は、ともに点検等のため停止中でした。

地震発生後、直ちに保安規定に基づいて、各施設の巡視・点検を実施するとともに、原子炉施設の作動試験等を順次実施してきました。

また、敷地地盤や 1, 2 号機原子炉建屋において観測された地震記録の分析、およびこれらを用いた施設の耐震安全性について検討を行ってまいりました。

観測記録の分析結果および施設の耐震安全性確認結果がまとまりましたので、点検状況もあわせて、以下にご報告いたします。

2. 地震の概要

平成 19 年 3 月 25 日に発生した能登半島地震の概要は以下のとおり。

- ・ 発生日時：平成 19 年 3 月 25 日 9 時 42 分頃
- ・ 震央地名：能登半島沖
- ・ 地震諸元（気象庁暫定値）
 - 規 模：マグニチュード 6. 9
 - 震央位置：北緯 3 7 度 1 3. 2 分 東経 1 3 6 度 4 1. 1 分
 - 震源深さ：1 1 k m
- ・ 志賀原子力発電所との距離 震央距離約 1 8 k m，震源距離約 2 1 k m
- ・ 各地の震度：震度 6 強（石川県輪島市，七尾市，鳳珠郡穴水町等）
震度 6 弱（石川県羽咋郡志賀町，鹿島郡中能登町等）
震度 5 強（石川県珠洲市等）
震度 5 弱（石川県羽咋市，羽咋郡宝達志水町等）

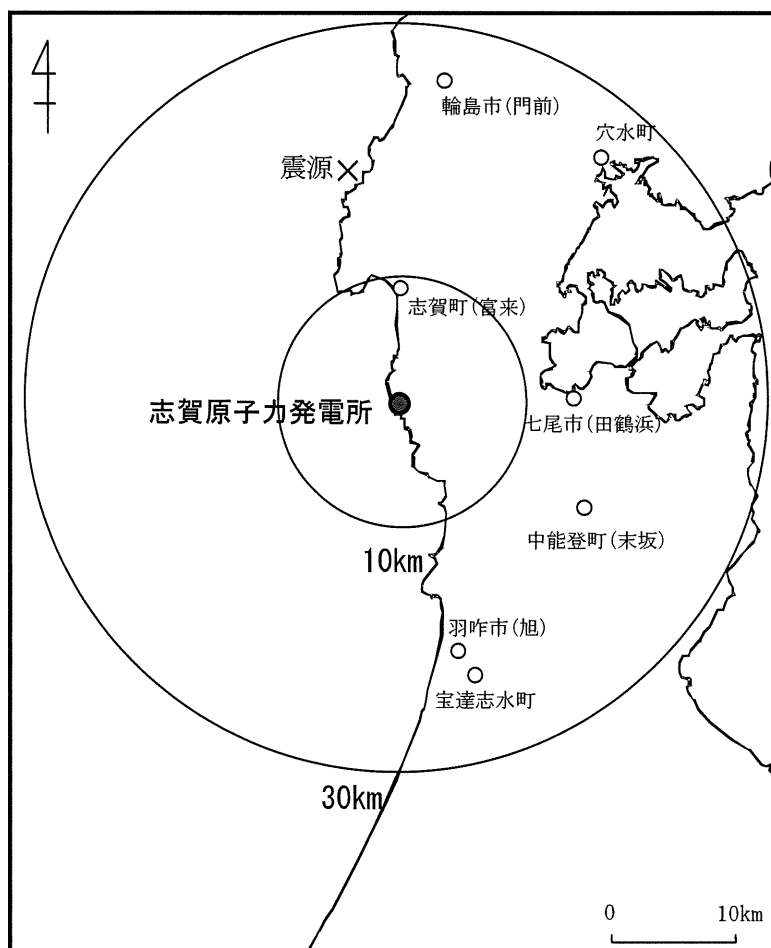


図 2.1 震源位置図

3. 施設の保安確認状況

地震発生により、1号機は、地震加速度を検出する計器が正常に動作し、原子炉自動停止信号が発信されたが、原子炉が停止中で全制御棒は全挿入状態を維持していた。

また、2号機は、燃料が装荷されているセルの全制御棒を全挿入し、かつ制御棒駆動機構電源を切って地震による原子炉自動停止回路を点検作業中であったため原子炉自動停止信号は発信されなかったが、地震加速度を検出する計器は正常に動作した。

発電所では、地震発生直後から「志賀原子力発電所 原子炉施設保安規定」に基づく社内要領に従って現場の保安確認を実施している。

施設の巡視・点検については、安全上問題となるものは確認されていない。

また、地震発生時、1,2号機とも停止状態であったことから、停止状態で機能要求のある設備・系統の作動試験等を実施したところ、異常はなかった。引き続き1,2号機の定期検査にあわせて、機能要求のある設備・系統の作動試験・機能試験を実施していく。

3.1 保安確認の実施状況

(1) 中央制御室の警報等監視

中央制御室における警報の発生状況・パラメータの状況について確認を実施したところ、異常はなかった。(3月25日実施)

(2) 発電所施設の巡視・点検

原子炉建屋施設、タービン建屋施設、屋外施設等について巡視・点検を実施したところ、これまでの点検において、安全上問題となるものは確認されなかった。(3月25日実施)

主な点検状況は次のとおりである。

a. 志賀1号機 使用済燃料貯蔵プールからの水飛散

1号機原子炉建屋4階において、使用済燃料貯蔵プール周辺に水が飛散した。飛散した量は、約45リットル、放射エネルギーは約750万ベクレルであった。そのうち、養生シート外には約8リットル、放射エネルギーは約130万ベクレルであった。飛散した水については速やかに拭き取った。外部への放射能の影響はなかった。
(添付資料-1)

b. 志賀1,2号機の変圧器放圧装置動作

地震の揺れにより変圧器内の絶縁油の油面が変動したため、放圧装置

が動作した。放圧装置は新品と取り替えた。(添付資料－2)

c. 志賀 1, 2 号機水銀灯の落下

1 号機タービン建屋運転階の水銀灯が 7 個, また 2 号機原子炉建屋運転階の水銀灯が 2 個落下した。

2 号機で落下した水銀灯については, 使用済燃料貯蔵プールおよび原子炉ウェル内に破片が落下した可能性を否定できないため, 今後, 同プール内等を点検し, 必要に応じ回収作業を行う。(添付資料－3)

d. 志賀 2 号機低圧タービン組み立て中のタービンロータの位置ずれ

組み立て中の低圧タービンロータを仮止めしていた治具が変形し, 位置ずれがわずかに生じたため, 再度組み立て調整を行う。(添付資料－4)

e. 建屋内コンクリート等の剥がれ

2 号機タービン建屋で床底面コンクリートの剥がれが, また 1 号機原子炉建屋, タービン建屋の配管穴仕舞モルタルの剥がれが確認された。

(添付資料－5)

建屋の強度上問題となるとは考えられないが, 当該部について補修する。

(3)放射線管理上の点検・評価

放射線モニタ等の確認, 管理区域内の線量当量率, 表面汚染密度等の測定・評価を実施したところ, 異常はなかった。(3 月 25 日実施)

(4)工学的安全施設等の作動試験

非常用炉心冷却系のポンプ手動起動試験・電動弁手動全開全閉試験等を実施し, 健全性を確認したところ, これまでの作動試験において異常はなかった。(添付資料－6)

(5)安全確保上重要な設備の機能試験

原子炉棟の気密性能試験, 所内蓄電池の点検等を実施し, 健全性を確認したところ, これまでの機能試験において異常はなかった。

(添付資料－7)

(6)原子炉安全上の点検・評価

プロセスモニタ, エリアモニタ, 原子炉水位等に有意な変動がないこと, 原子炉が未臨界状態であることを確認した。(添付資料－8)

4. 岩盤における観測記録に基づく耐震安全性確認について

4.1 岩盤における観測記録

志賀原子力発電所では、図 4.1.1 に示す位置で敷地地盤における地震観測を行っている。平成 19 年 3 月 25 日に発生した能登半島地震について、岩盤中である EL-10m (GL-31m, $V_s=1,500\text{m/s}$ 相当) で得られた観測記録の加速度波形および加速度応答スペクトルを図 4.1.2 に示す。

また、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。）の加速度波形および加速度応答スペクトルを図 4.1.3 に示す。なお、はぎとり解析に用いた地盤モデルは、今回の地震観測記録を用いて最適化したものを用いている。

4.2 観測記録に基づく耐震安全性確認

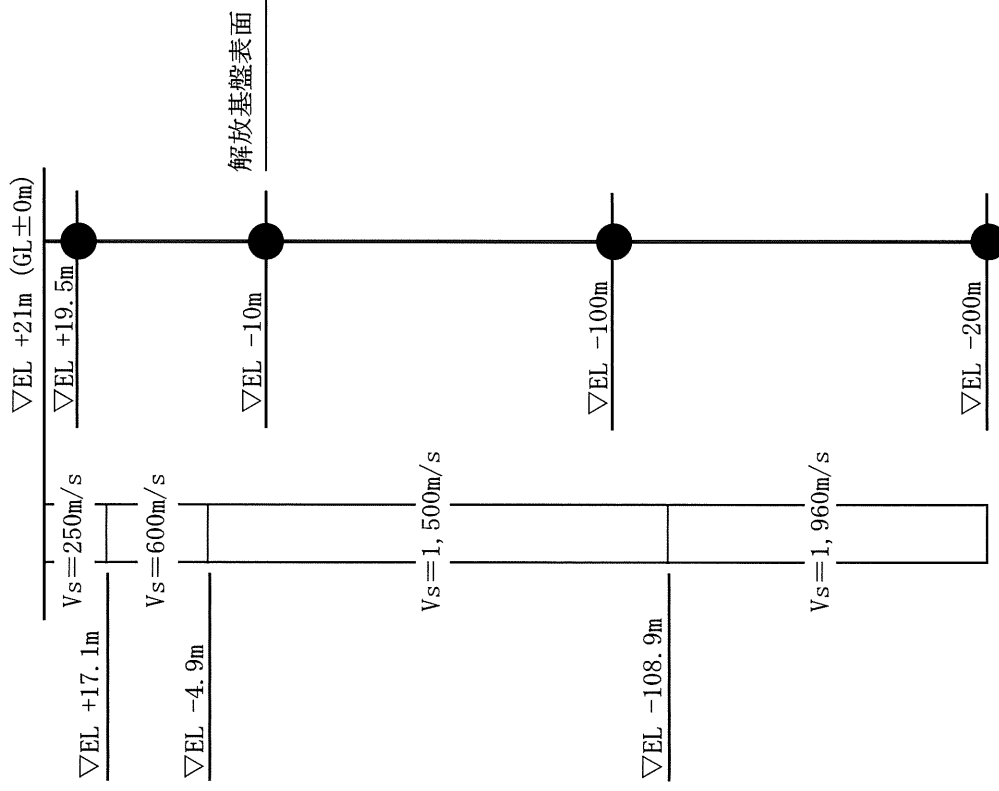
志賀原子力発電所における安全上重要な建物・構築物、機器・配管は原則として剛構造として設計しているため、表 4.2.1 および表 4.2.2 に示すとおり、これらの固有周期は短周期側に集中している。

図 4.1.3 に示すはぎとり波の応答スペクトルは、0.36 秒から 0.39 秒、および 0.49 秒から 1 号機では 0.80 秒、2 号機においては 0.76 秒までの周期帯において基準地震動 S_2 を超えている。

しかしながら、志賀原子力発電所では安全上重要な施設のほとんどは剛構造としているため、これらの固有周期は短周期側に集中している。また、この地震動による応答スペクトルが基準地震動 S_2 を上回る周期帯には、安全上重要な施設がないことを確認した。

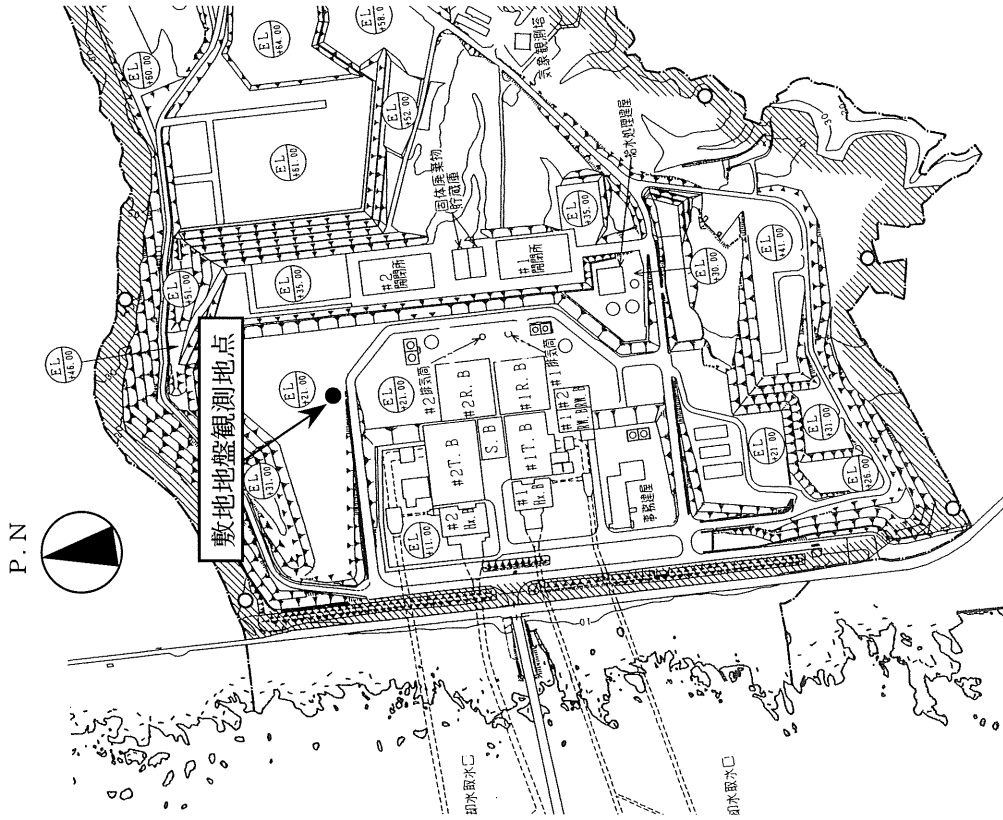
また、はぎとり波の応答スペクトルは 1 号機で 0.18 秒から 0.25 秒、および 0.32 秒から長周期側で、2 号機では 0.18 秒から 0.25 秒、および 0.32 秒から 0.87 秒の周期帯で基準地震動 S_1 を超えているものの、安全上重要な施設に影響を与える可能性のある短周期帯では、超えている割合はわずかであり、基準地震動を用いて詳細設計をする段階で余裕をもって設計していることから、耐震安全性が確保されているものと考えられる。

なお、後述のとおり念のため実施した建屋および機器・配管の耐震健全性確認の結果、安全上重要な建屋、機器・配管は基準地震動 S_1 に対して定められた許容値に十分収まっており、耐震健全性が確保されていることを確認した。



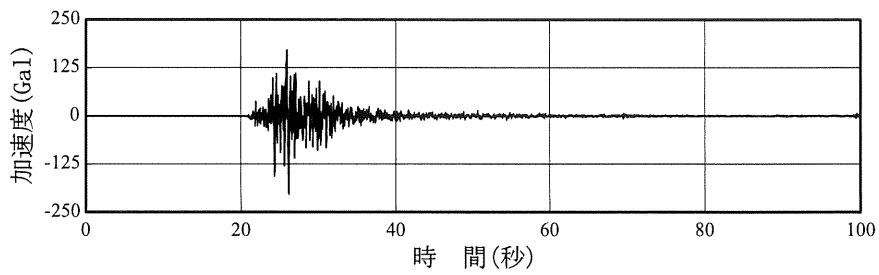
● : 強震計設置位置

深さ方向の強震計位置

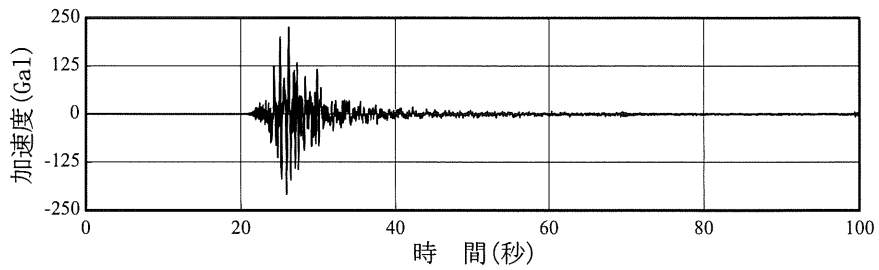


配置図

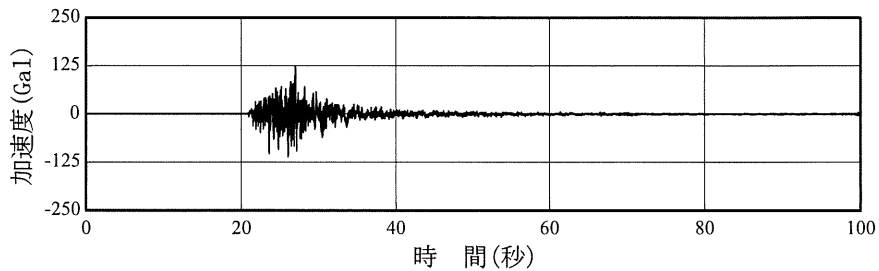
図 4.1.1 敷地地盤の地震観測用強震計位置図



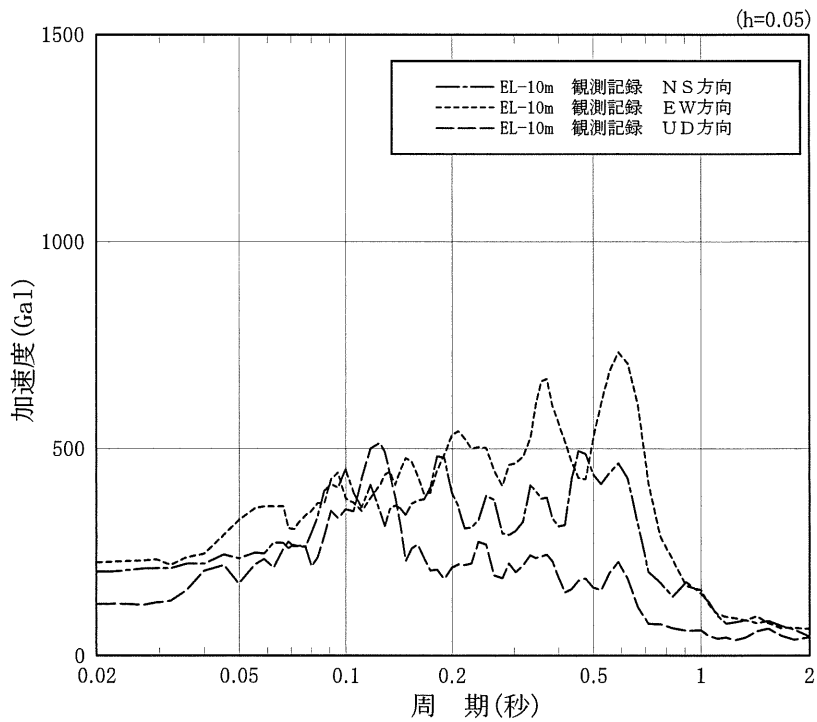
EL-10m 観測記録の加速度波形 (NS方向) MAX=203Gal



EL-10m 観測記録の加速度波形 (EW方向) MAX=225Gal

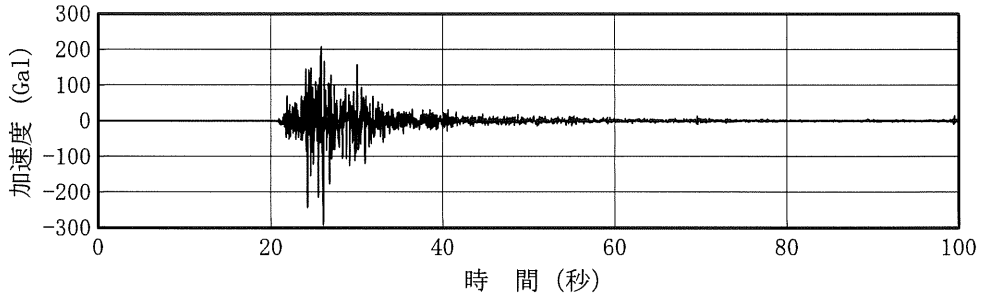


EL-10m 観測記録の加速度波形 (UD方向) MAX=125Gal

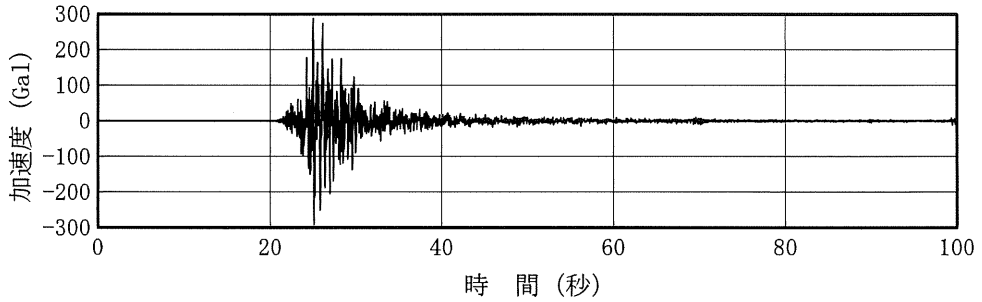


EL-10m 観測記録の加速度応答スペクトル

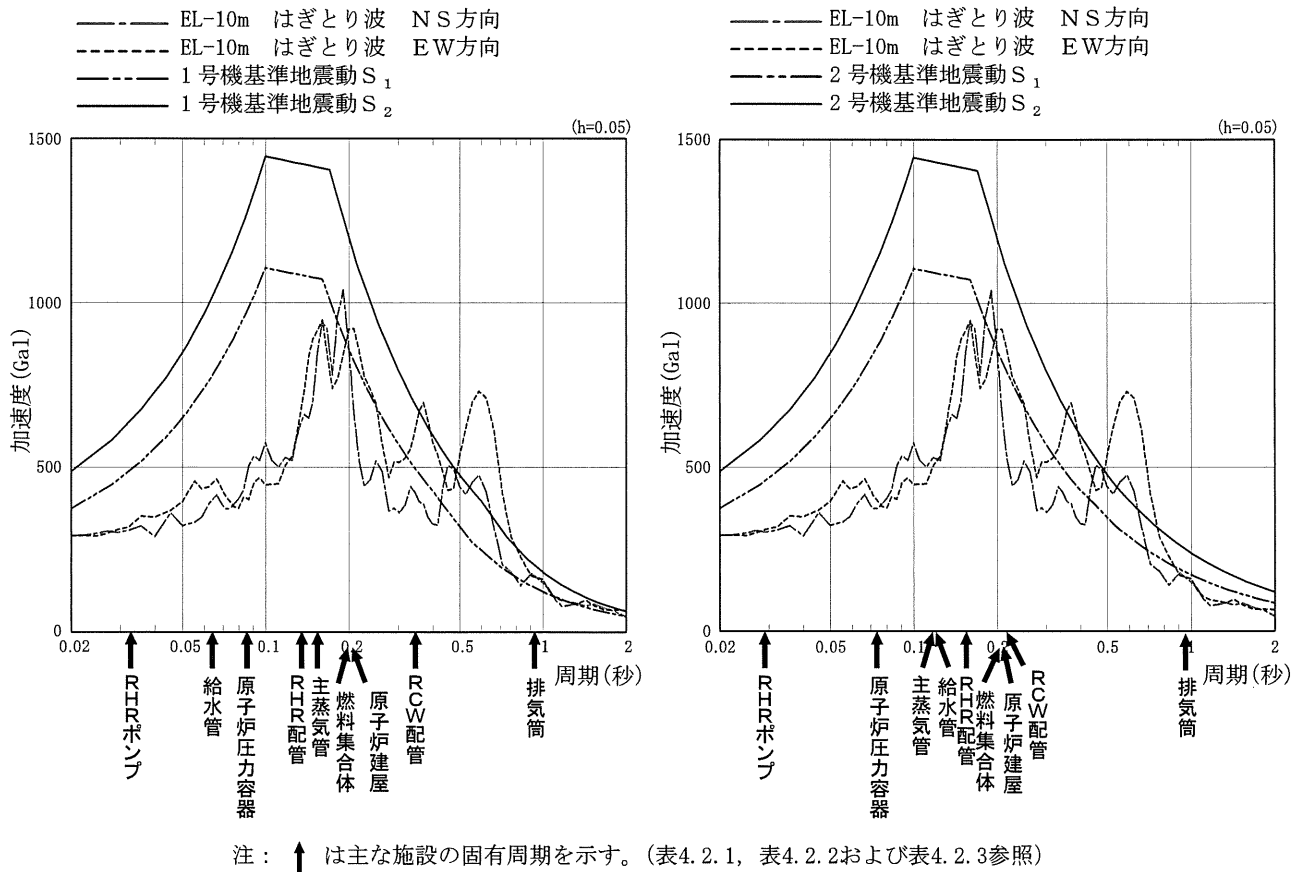
図 4.1.2 岩盤中 (EL-10m) の観測記録



EL-10m はぎとり波の加速度波形 NS方向 MAX=292Gal



EL-10m はぎとり波の加速度波形 EW方向 MAX=292Gal



注：↑ は主な施設の固有周期を示す。(表4.2.1, 表4.2.2および表4.2.3参照)

1号機基準地震動との比較

2号機基準地震動との比較

EL-10m はぎとり波の加速度応答スペクトル

図 4.1.3 解放基盤表面の地震動 (はぎとり波)

表 4.2.1 志賀 1 号機の主な安全上重要な施設の固有周期

名 称	1 次固有周期 (秒)
原子炉建屋	0.201 , 0.203
原子炉压力容器	0.086
燃料集合体	0.198 , 0.199
主蒸気管	0.153
給水管	0.064
残留熱除去 (RHR) ポンプ	0.033
残留熱除去系 (RHR) 配管	0.136
原子炉補機冷却水系 (RCW) 配管	0.344

表 4.2.2 志賀 2 号機の主な安全上重要な施設の固有周期

名 称	1 次固有周期 (秒)
原子炉建屋	0.210 , 0.212
原子炉压力容器	0.074
燃料集合体	0.206
主蒸気管	0.117
給水管	0.119
残留熱除去 (RHR) ポンプ	0.029
残留熱除去系 (RHR) 配管	0.151
原子炉補機冷却水系 (RCW) 配管	0.214

表 4.2.3 排気筒の固有周期

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

5. 原子炉建屋，機器・配管の耐震健全性確認について

5.1 原子炉建屋における観測記録

志賀原子力発電所では，地盤における地震観測の他，1,2号機原子炉建屋には地震観測用強震計（44ヶ所），さらに1号機原子炉建屋については速報用計測震度計（1ヶ所）並びにバックアップ用地震計（2ヶ所）を設置している。（1号機の地震観測用強震計の本震波形記録は，収録装置の不具合により欠測した。）

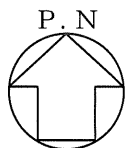
速報用計測震度計はプラントを代表して1号機原子炉建屋に設置しており，地震直後の震度および最大加速度値を測定し，速やかな公表および点検の際の目安に活用している。本地震発生に際しても速報用計測震度計で観測された最大加速度値 226Gal（NS，EW，UD 3成分の合成値）は地震直後に速やかに公表している。

速報用計測震度計，原子炉建屋の地震時の基本的な振動特性を把握するために設置した地震観測用強震計およびバックアップ用地震計の位置を図 5.1.1，図 5.1.2 に，地震観測用強震計で観測された各階の最大加速度値および最大加速度分布を図 5.1.3 および図 5.1.4 に示す。なお，図 5.1.3 および図 5.1.4 には比較のため，設計モデルを用いた基準地震動 S_1 および基準地震動 S_2 地震応答解析により求められた最大加速度分布も併記した。

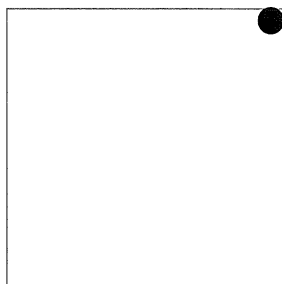
これによれば観測記録の最大加速度分布は，1,2号機とも基礎版上のEW方向で，基準地震動 S_1 による最大加速度を若干上回るものの，それ以外の全ての箇所を下回る結果となっている。

一方，原子炉建屋の観測記録を代表して基礎版上および2階床位置での床応答スペクトルを図 5.1.5 および図 5.1.6 に示す。

これによれば各床の応答スペクトルも長周期側を中心に一部の周期帯で基準地震動 S_1 ， S_2 を超えているものの，全体的には基準地震動 S_1 ， S_2 を下回ったものとなっている。

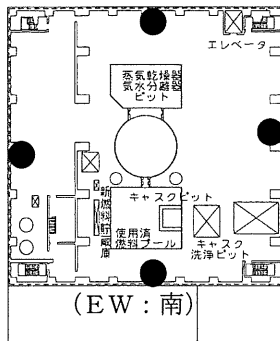


(NS, EW: 北)



屋根 (EL+54.83m)

(EW: 北)



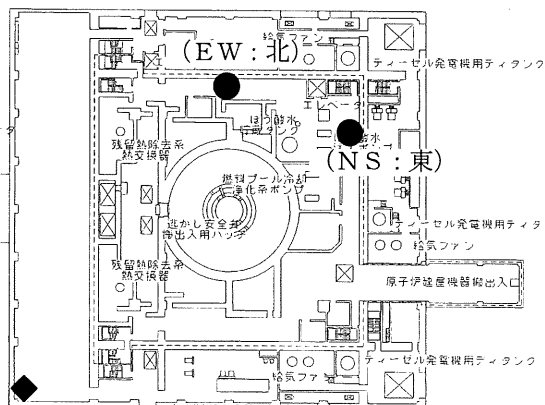
(NS: 西)

(NS: 東)

(EW: 南)

4階 (EL+37.63m)

(NS, EW: S北)



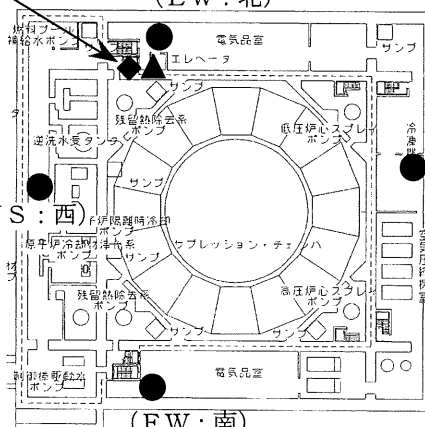
(EW: 北)

(NS: 東)

(NS, EW: S西)

2階 (EL+21.3m)

(EW: 北)



(NS: 西)

(NS: 東)

(EW: 南)

基礎版上 (EL-1.6m)

凡例

記号	名称
●	地震観測用強震計
◆	バックアップ用地震計
▲	速報用計測震度計

図 5.1.1 基本的な振動特性を把握するために設置した地震計 (志賀1号機)

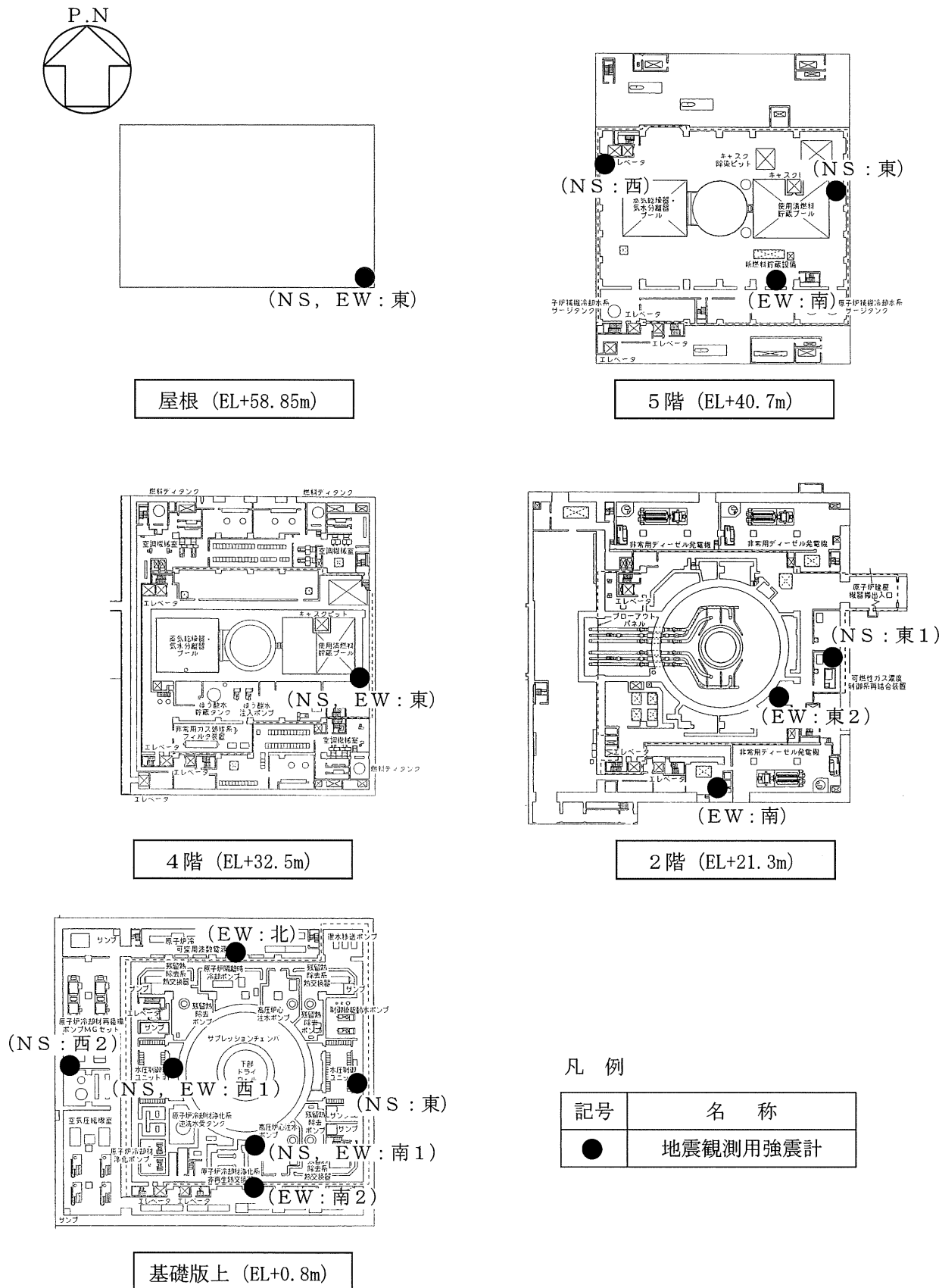


図 5.1.2 基本的な振動特性を把握するために設置した地震計 (志賀 2 号機)

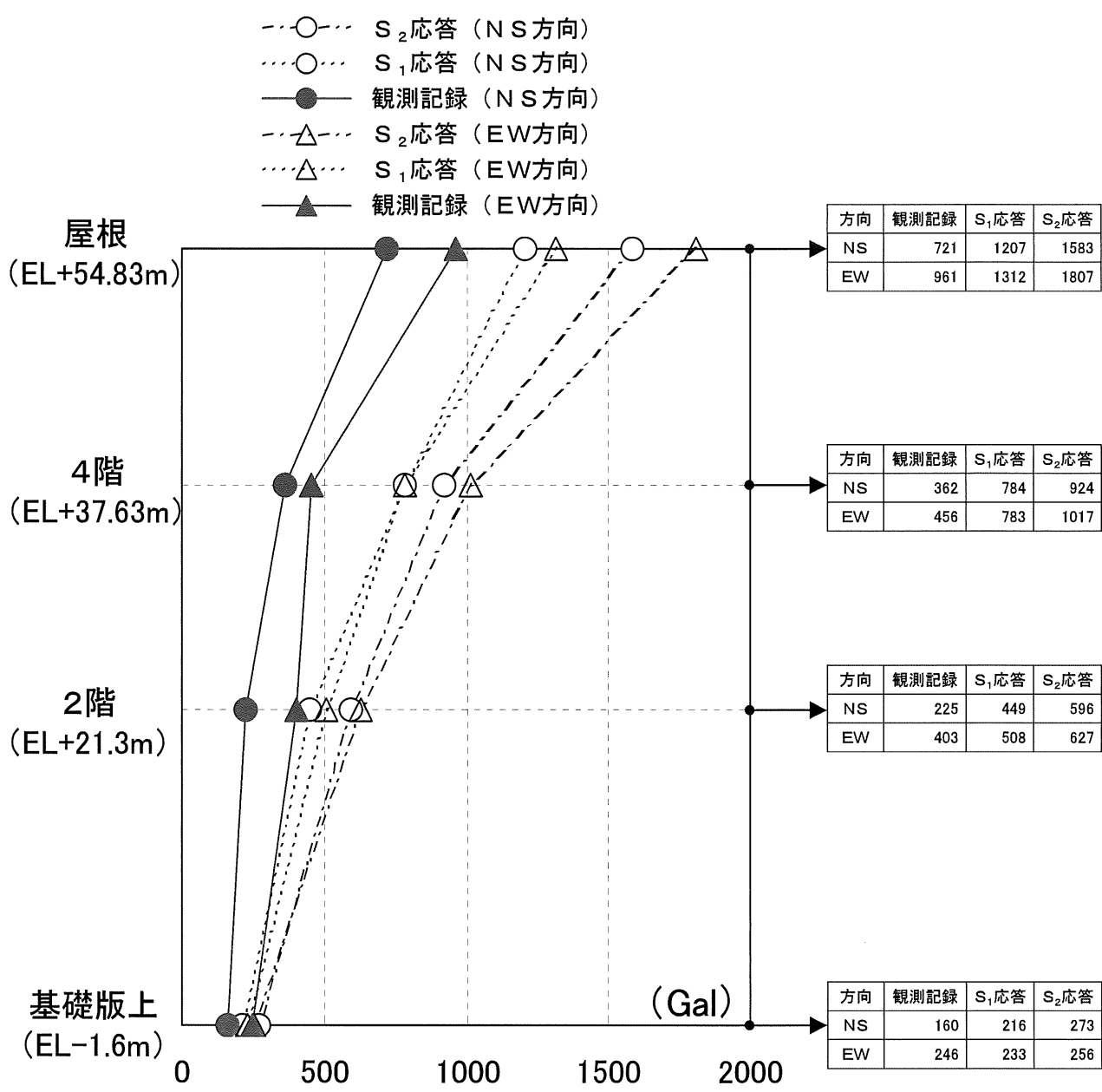


図 5.1.3 最大加速度分布 (志賀 1 号機)

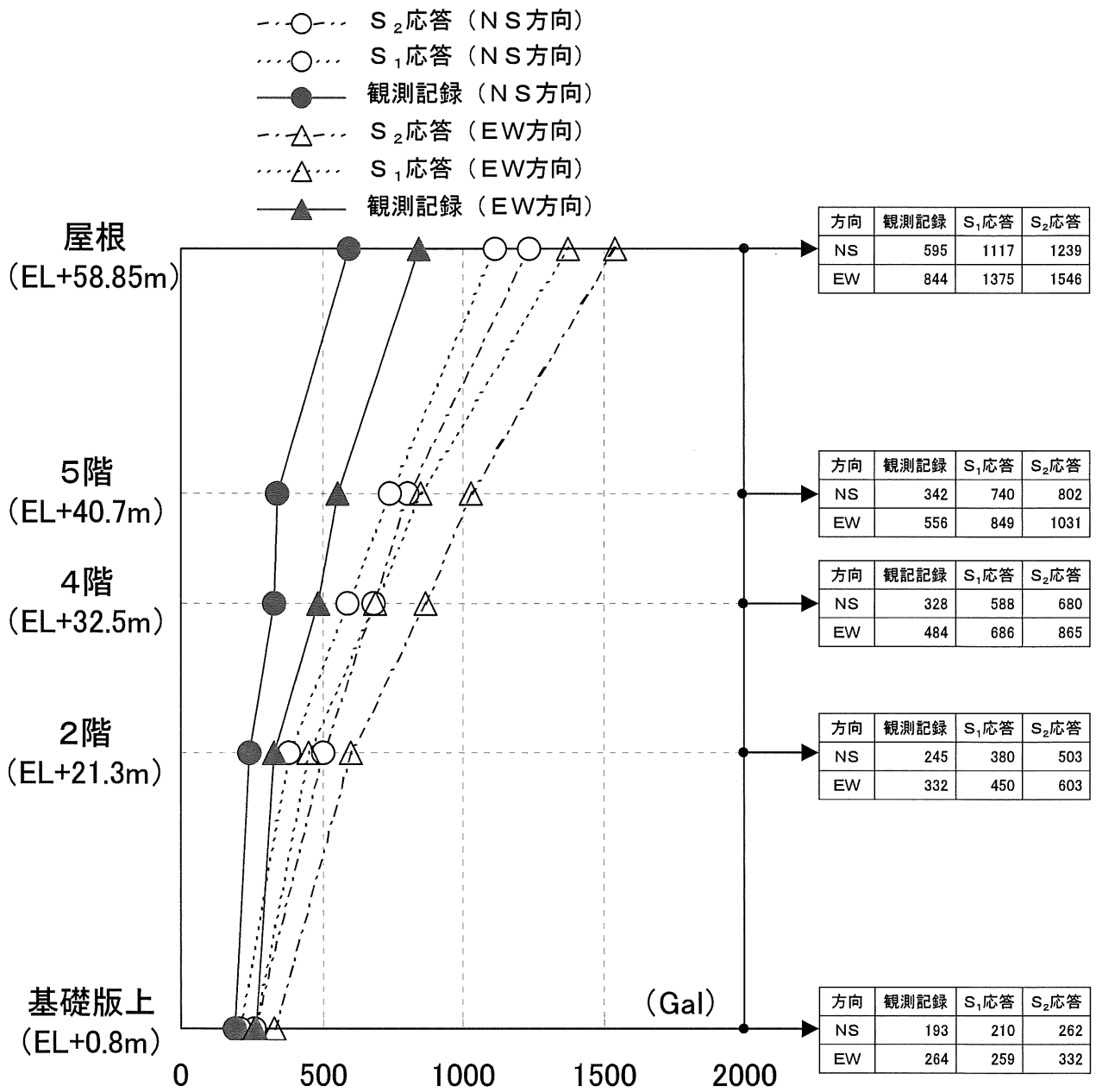
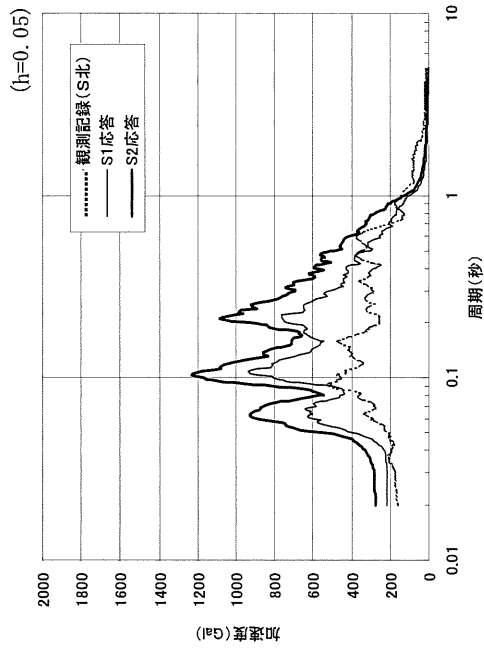
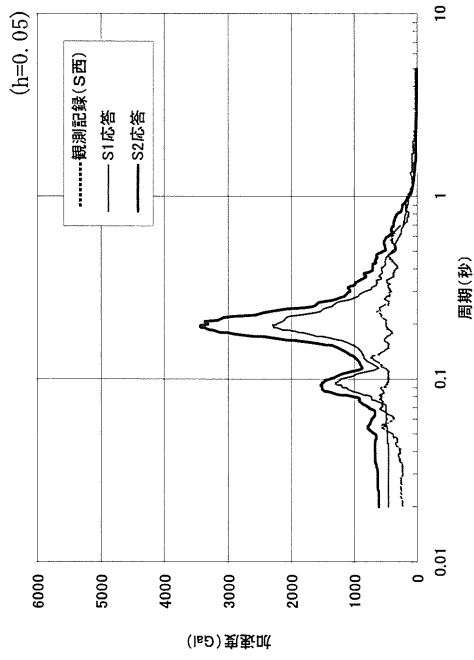


図 5.1.4 最大加速度分布 (志賀 2 号機)

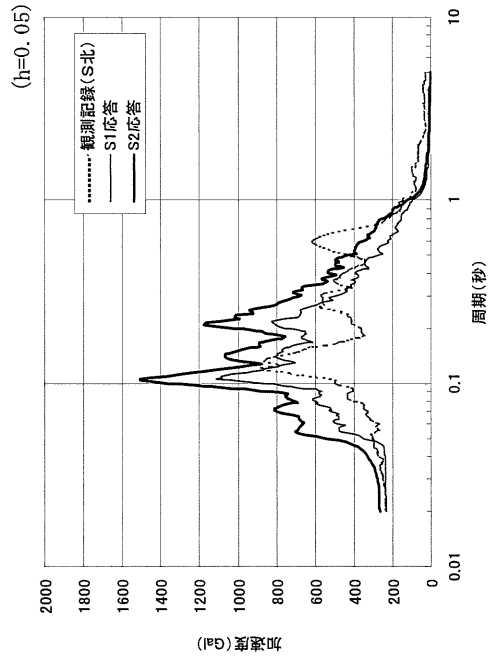


基礎版上 (EL-1.6m)

NS方向 加速度応答スペクトル

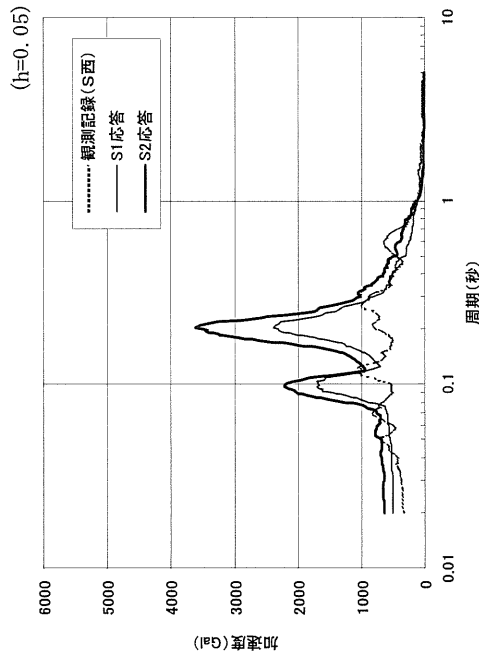


2階 (EL+21.3m)



基礎版上 (EL-1.6m)

EW方向 加速度応答スペクトル



2階 (EL+21.3m)

図 5.1.5 床応答スペクトルの比較 (S₁, S₂ 応答と観測記録) (志賀 1 号機)

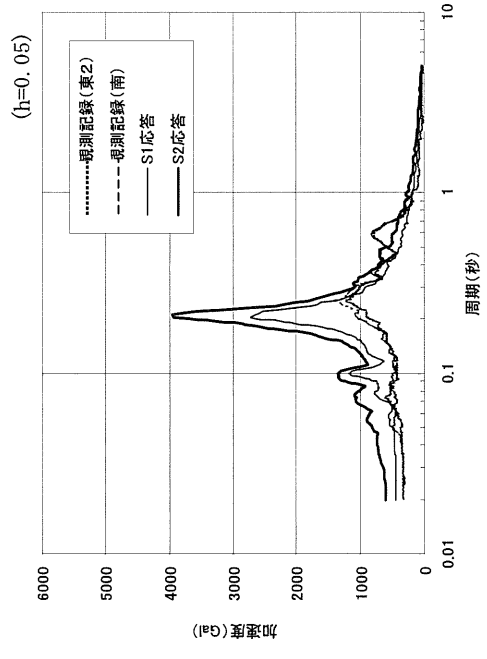
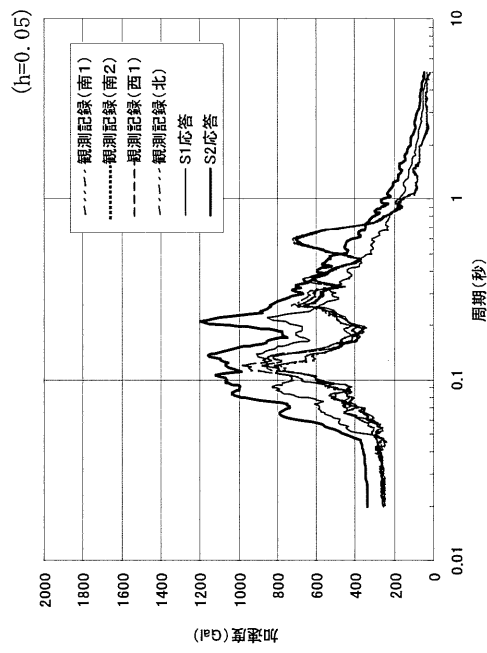
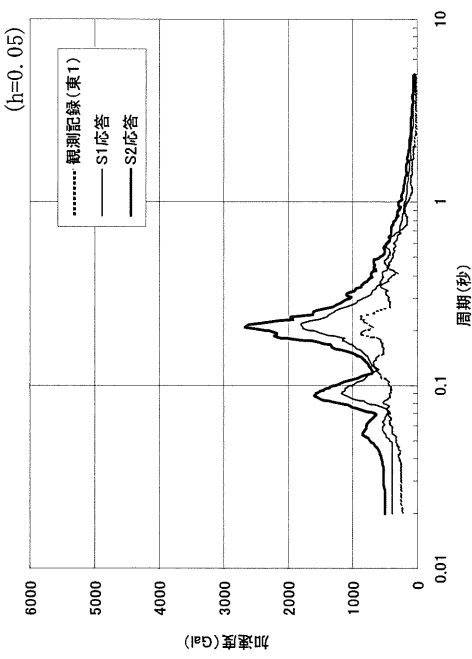
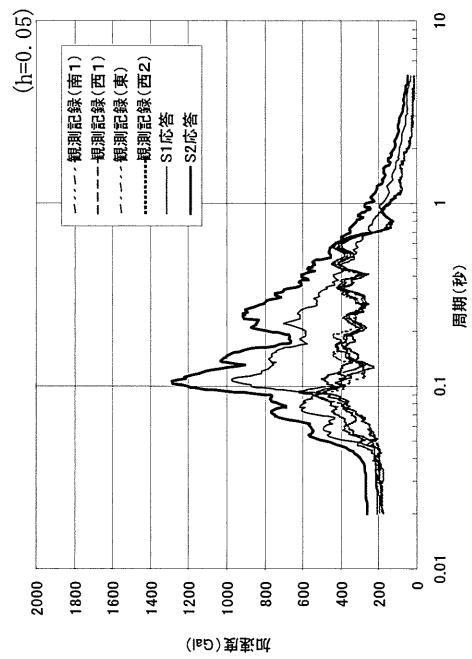


図 5.1.6 床応答スペクトルの比較 (S₁, S₂ 応答と観測記録) (志賀 2 号機)

5.2 原子炉建屋の耐震健全性の確認結果について

志賀原子力発電所1号機原子炉建屋および2号機原子炉建屋について、今回の地震の観測記録を用いて地震応答解析を実施することにより、建屋各部位の応答を算定し、建屋の耐震健全性が確保されていることを確認する。

5.2.1 建屋の耐震健全性の確認方法

建屋の耐震健全性が確保されていることを以下の手順で確認する。

(1) 地震応答解析

基礎版上の観測記録波を解析モデルの基礎版上に直接入力し、建屋各部位の応答を算定し、観測記録との比較を行う。

(2) せん断変形角による耐震健全性の確認

地震応答解析により求められる各階のせん断変形角が、壁のひび割れが発生する変形角の目安値 ($0.2 \sim 0.3 \times 10^{-3} \text{rad}$) ^{※1}以下で、建屋が弾性範囲にあることを確認する。

※1：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー
1999 日本建築学会

(3) せん断力による耐震健全性の確認

地震応答解析により求められる最大せん断力が、基準地震動 S_1 による応答値に余裕をみて設定した設計用地震力以下で、建屋が弾性範囲にあることを確認する。

5.2.2 1号機原子炉建屋の耐震健全性の確認

(1)地震応答解析

地震応答解析は、解析モデルをスウェーローッキングモデルとし、基礎版上のバックアップ用地震計による観測記録波を解析モデルの基礎版上へ直接入力することにより行う。地震応答解析の概要を図5.2.1に、解析に用いた基礎版上の観測記録波（1号機入力波）の加速度波形および加速度応答スペクトルを図5.2.2に示す。

地震応答解析により求められた加速度応答スペクトルについて、観測記録と比較して図5.2.3に示す。図5.2.3には、参考のため、基準地震動 S_1 および基準地震動 S_2 による加速度応答スペクトルも併記した。

(2)せん断変形角による耐震健全性の確認

解析により求められた各階のせん断変形角を、壁のひび割れが発生する変形角の目安値と併せて図5.2.4に示す。

各階のせん断変形角は、壁のひび割れが発生する変形角の目安値（ $0.2 \sim 0.3 \times 10^{-3} \text{rad}$ ）以下であり、原子炉建屋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。

(3)せん断力による耐震健全性の確認

解析により求められた最大せん断力を、基準地震動 S_1 による応答値ならびに設計用地震力と併せて図5.2.5に示す。

最大せん断力は、基準地震動 S_1 による応答値に余裕をみて設定した設計用地震力以下であり、原子炉建屋は弾性範囲にあることから、耐震健全性は確保されていることを確認した。

また、今回解析により求められた原子炉建屋の各階に作用する水平力の総和であるベースシャーは、設計用地震力による値に対し、NS方向で約4割、EW方向で約5割となっている。

- ・ 建屋線形
- ・ 建屋減衰 5 %
- ・ 屋根の面内変形考慮
- ・ コンクリートのヤング係数：設計値 ($2.39 \times 10^7 \text{kN/m}^2$)

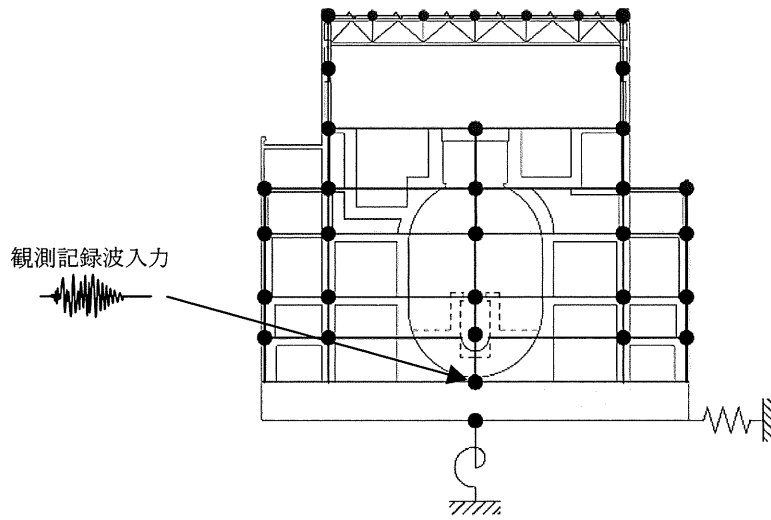
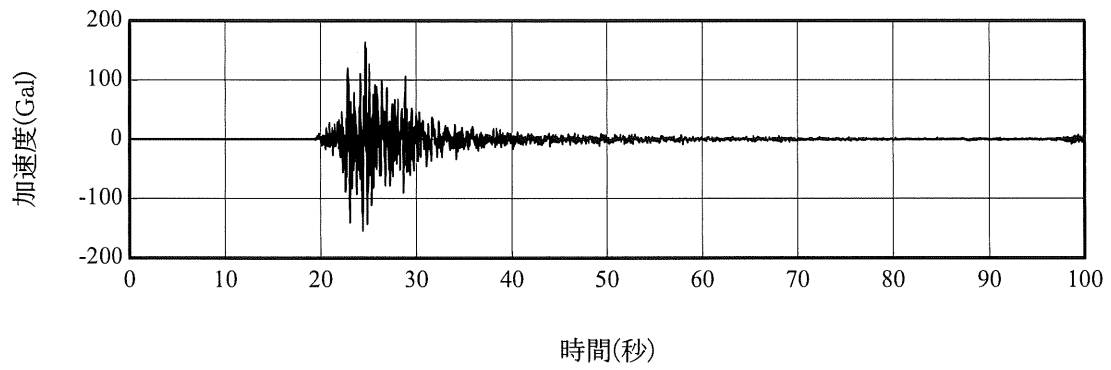
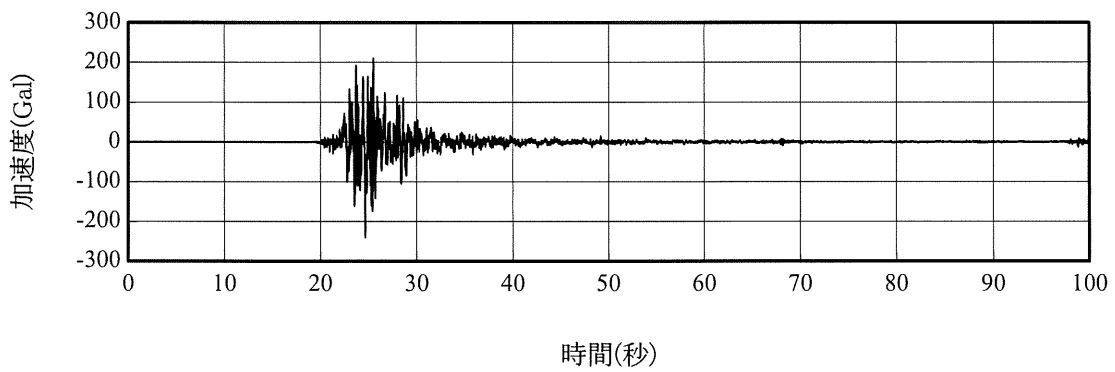


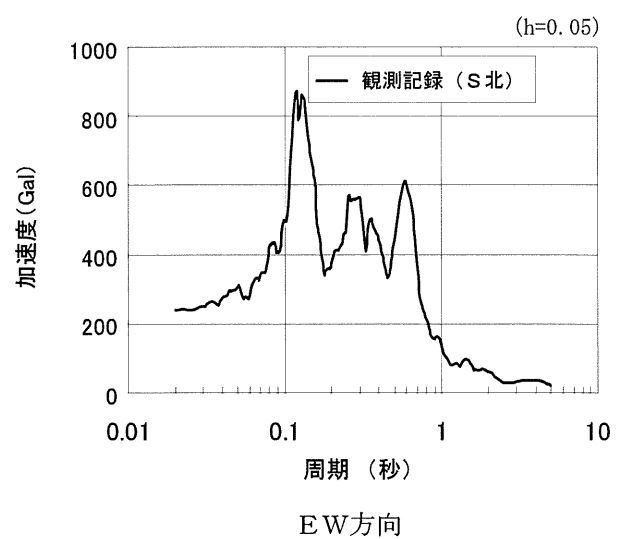
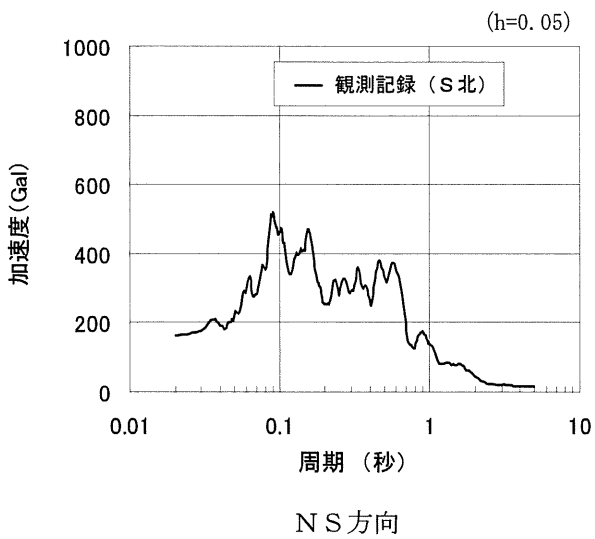
図 5.2.1 基礎版上の観測記録波を用いた地震応答解析の概要（志賀 1 号機）



加速度波形 NS方向 MAX=163Gal

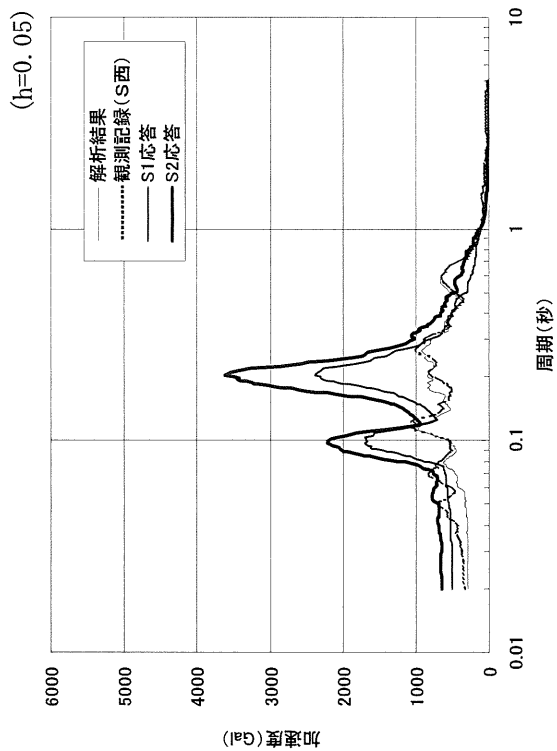


加速度波形 EW方向 MAX=239Gal



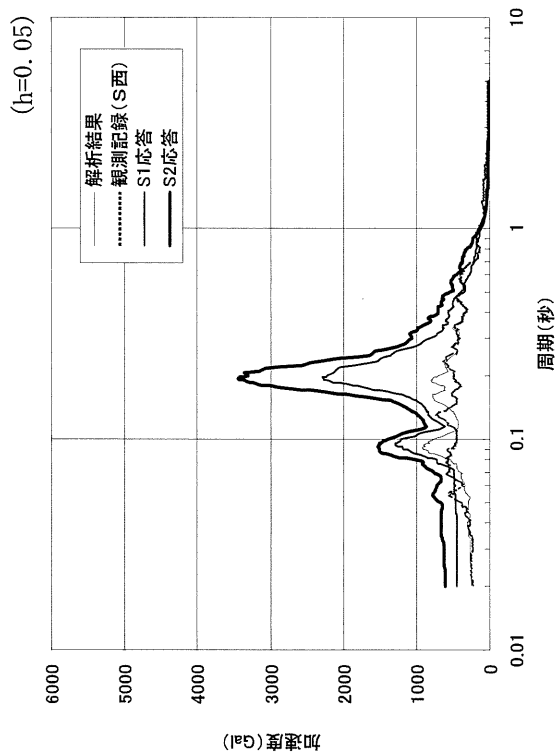
加速度応答スペクトル

図 5.2.2 1号機入力波の加速度波形および加速度応答スペクトル (志賀1号機)



2階 (EL+21.3m)

EW方向 加速度応答スペクトル



2階 (EL+21.3m)

NS方向 加速度応答スペクトル

図 5.2.3 床応答スペクトルの比較 (S₁, S₂ 応答と観測記録と解析結果) (志賀 1 号機)

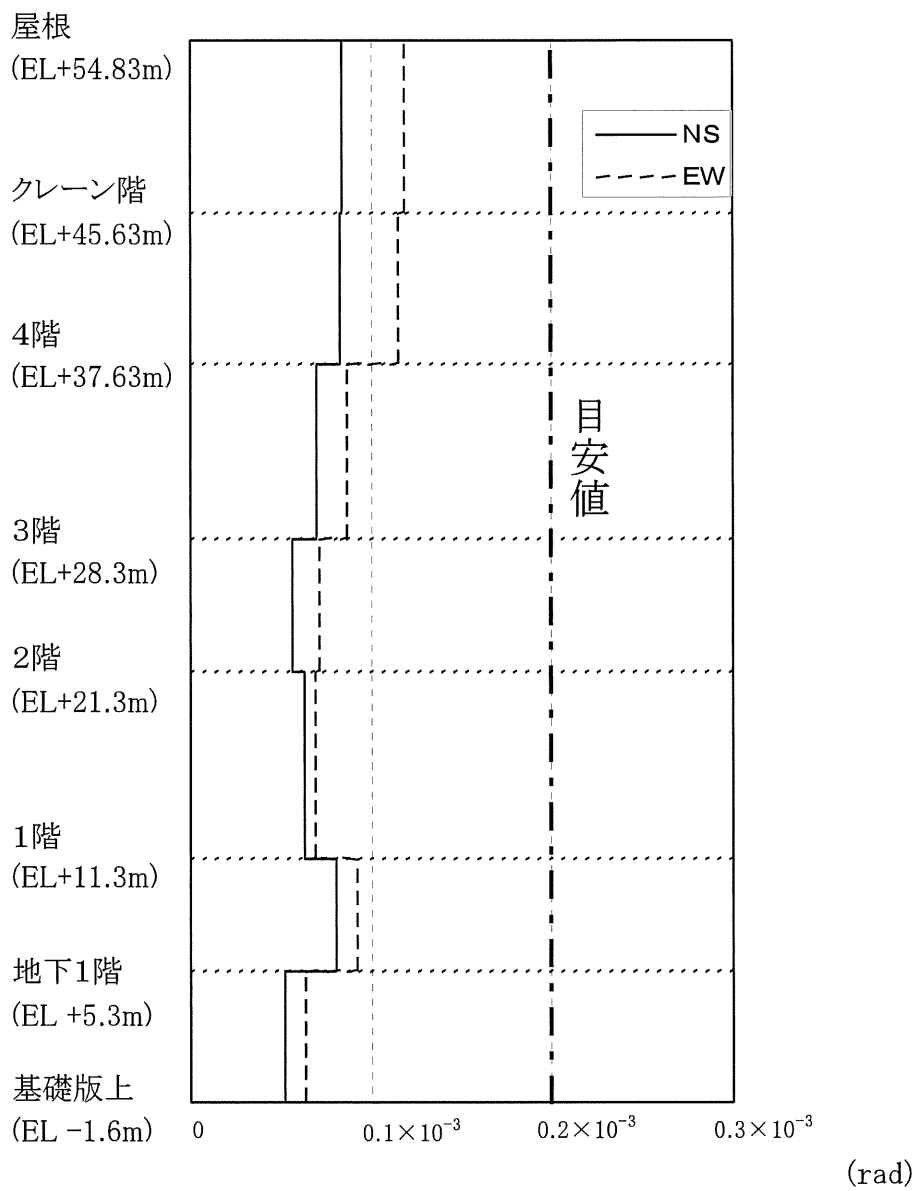
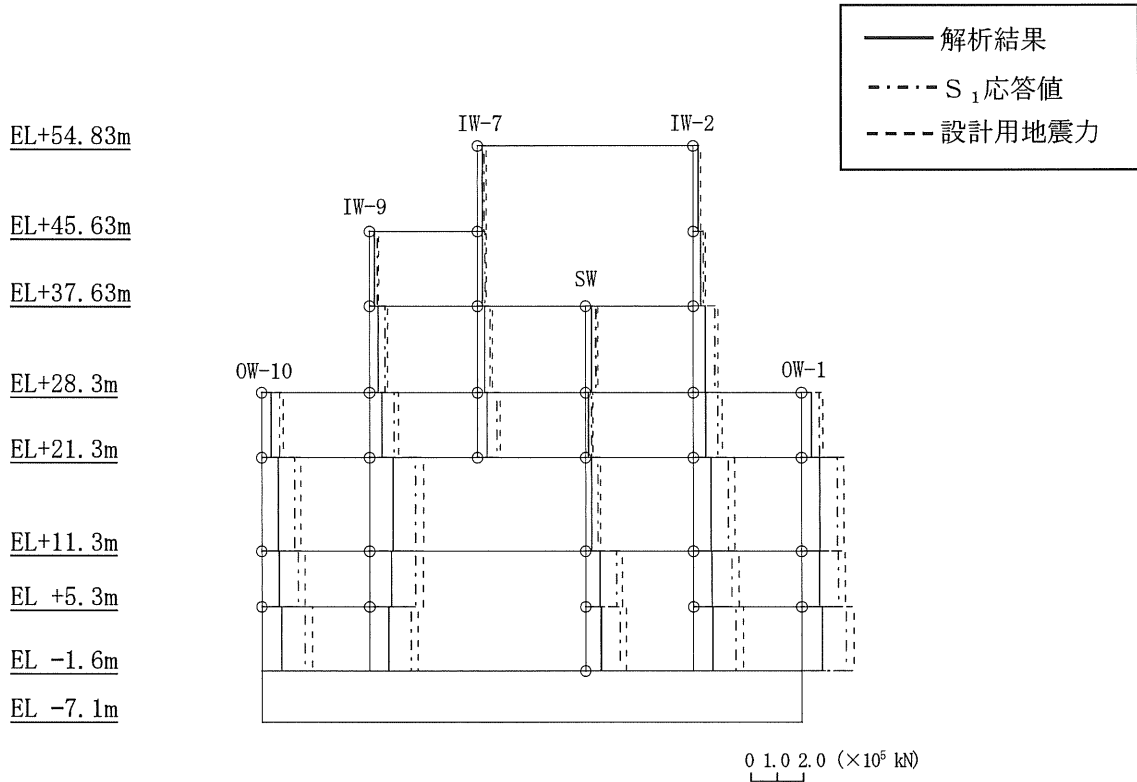
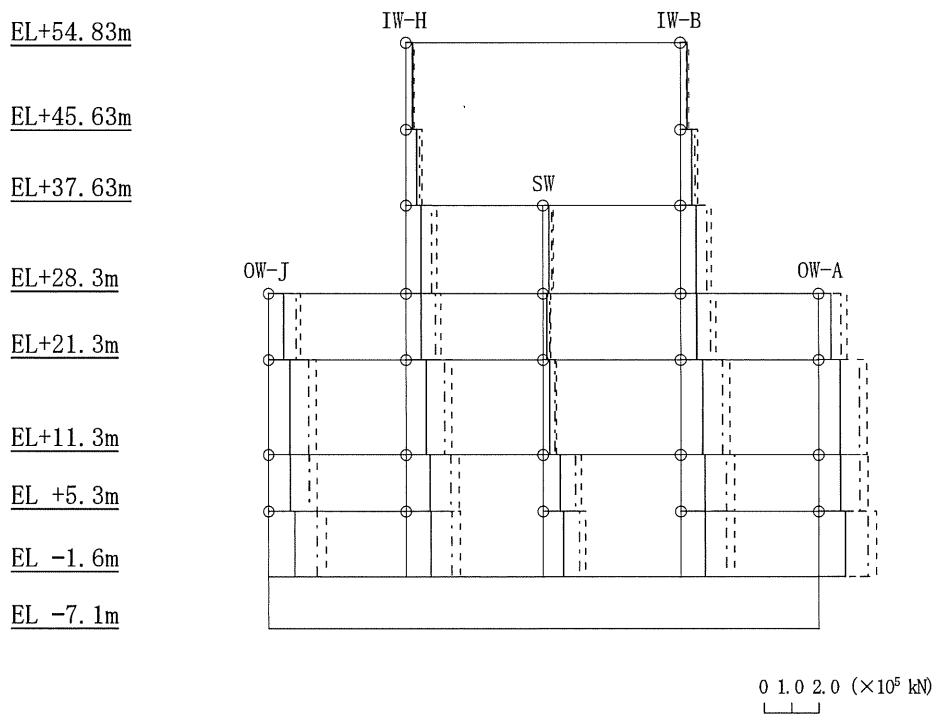


図 5.2.4 各層のせん断変形角 (志賀 1 号機)



NS方向



EW方向

図 5.2.5 解析により求められた最大せん断力と設計用地震力の比較 (志賀 1 号機)

5.2.3 2号機原子炉建屋の耐震健全性の確認

(1) 地震応答解析

地震応答解析は、解析モデルをスウェーローッキングモデルとし、基礎版上の地震観測用強震計（NS方向：東，EW方向：南2）による観測記録波を解析モデルの基礎版上へ直接入力することにより行う。地震応答解析の概要を図5.2.6に、解析に用いた基礎版上の観測記録波（2号機入力波）の加速度波形および加速度応答スペクトルを図5.2.7に示す。なお、図5.2.7については、基礎版上で観測された2号機入力波以外の記録（NS方向：西2，EW方向：北）の加速度応答スペクトルも併記した。

地震応答解析により求められた加速度応答スペクトルについて、観測記録と比較して図5.2.8に示す。図5.2.8には、参考のため、基準地震動 S_1 および基準地震動 S_2 による加速度応答スペクトルも併記した。

(2) せん断変形角による耐震健全性の確認

解析により求められた各階のせん断変形角を、壁のひび割れが発生する変形角の目安値と併せて図5.2.9に示す。

各階のせん断変形角は、壁のひび割れが発生する変形角の目安値（ $0.2 \sim 0.3 \times 10^{-3} \text{rad}$ ）以下であり、原子炉建屋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。

(3) せん断力による耐震健全性の確認

解析により求められた最大せん断力を、基準地震動 S_1 による応答値ならびに設計用地震力と併せて図5.2.10に示す。

最大せん断力は、基準地震動 S_1 による応答値に余裕をみて設定した設計用地震力以下であり、原子炉建屋は弾性範囲にあることから、耐震健全性は確保されていることを確認した。

また、今回解析により求められた原子炉建屋の各階に作用する水平力の総和であるベースシャーは、設計用地震力による値に対し、NS方向で約5割、EW方向で約7割となっている。

- ・ 建屋線形
- ・ 建屋減衰 5 %
- ・ 屋根の面内変形考慮
- ・ コンクリートのヤング係数：設計値 ($2.65 \times 10^7 \text{kN/m}^2$)

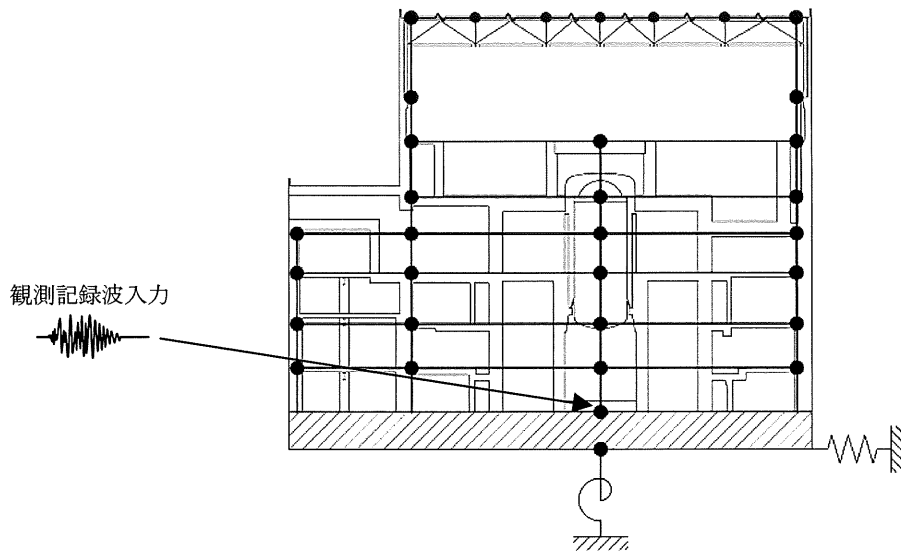
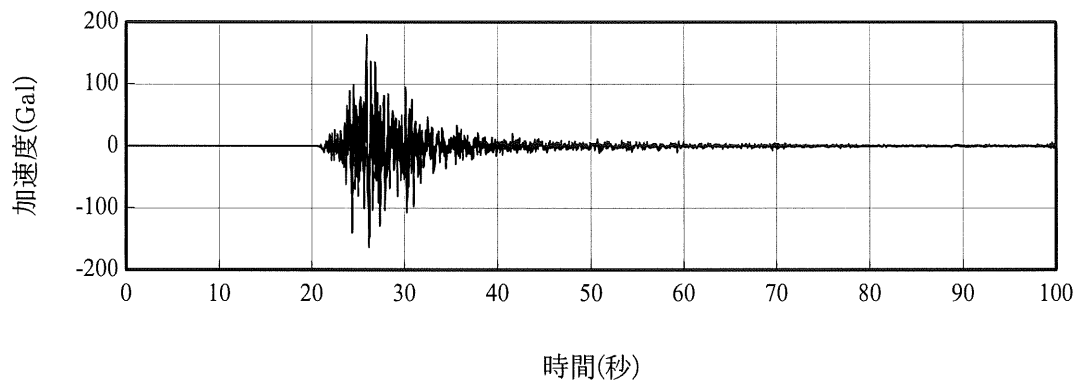
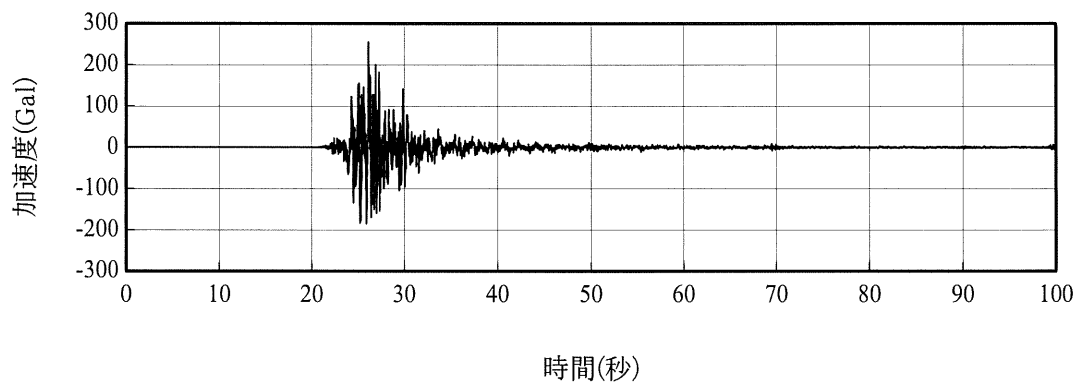


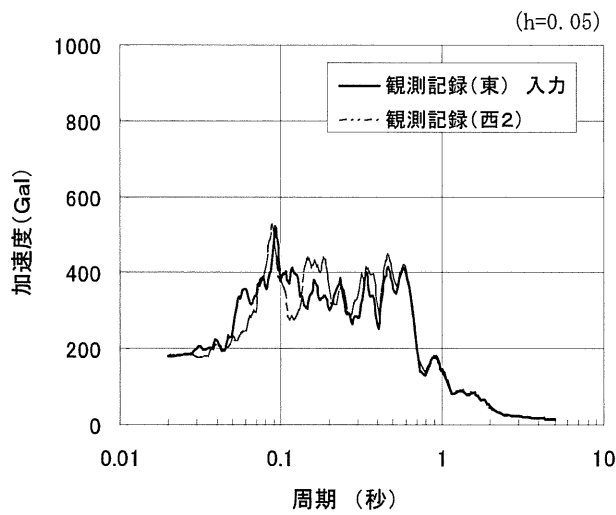
図 5.2.6 基礎版上の観測記録波を用いた地震応答解析の概要 (志賀 2 号機)



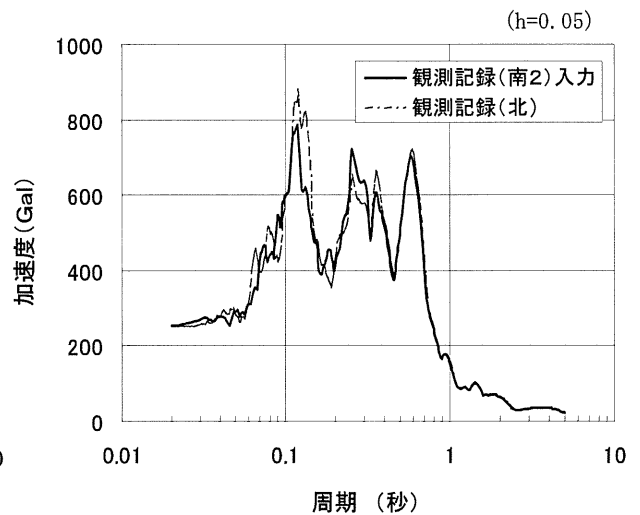
加速度波形 NS方向 MAX=179Gal



加速度波形 EW方向 MAX =254Gal



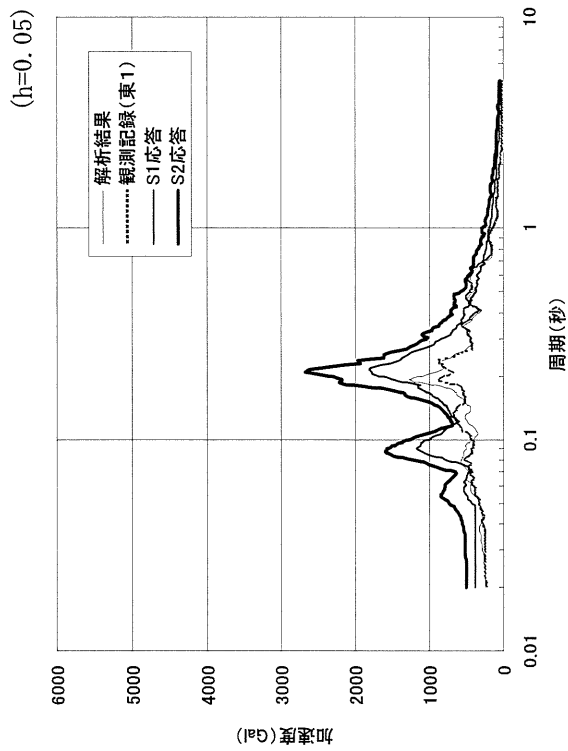
NS方向



EW方向

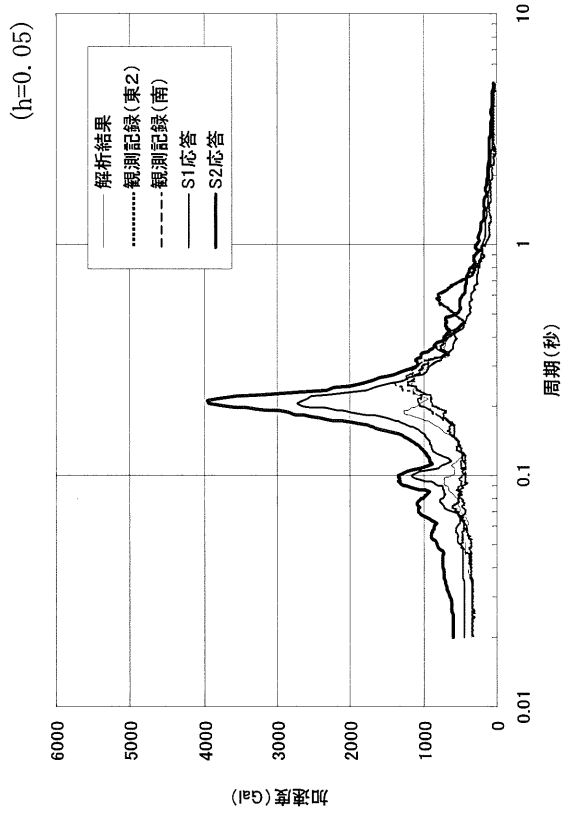
加速度応答スペクトル

図 5.2.7 2号機入力波の加速度波形および加速度応答スペクトル (志賀2号機)



2階 (EL+21.3m)

NS方向 加速度応答スペクトル



2階 (EL+21.3m)

EW方向 加速度応答スペクトル

図 5.2.8 床応答スペクトルの比較 (S₁, S₂ 応答と観測記録と解析結果) (志賀 2 号機)

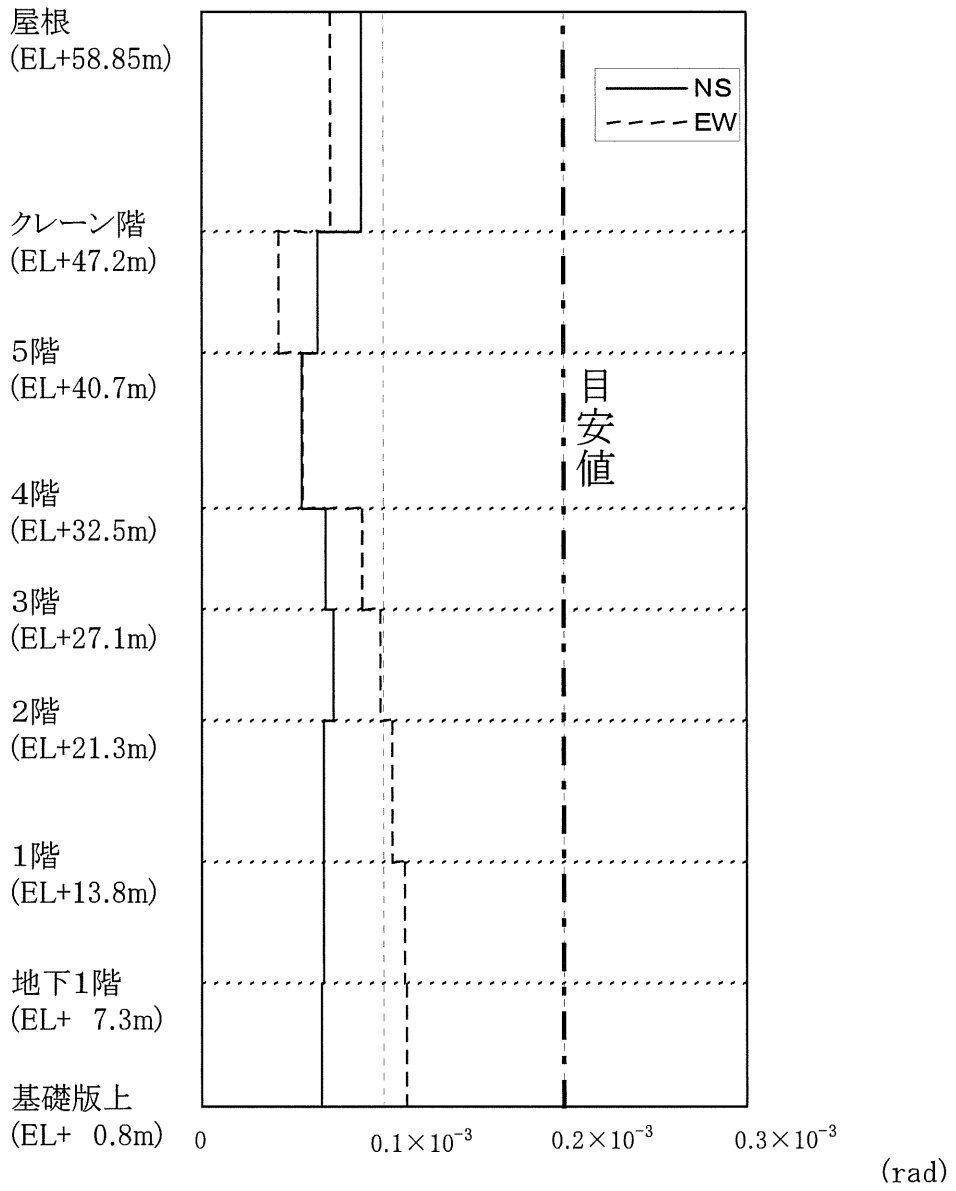
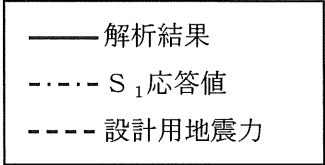
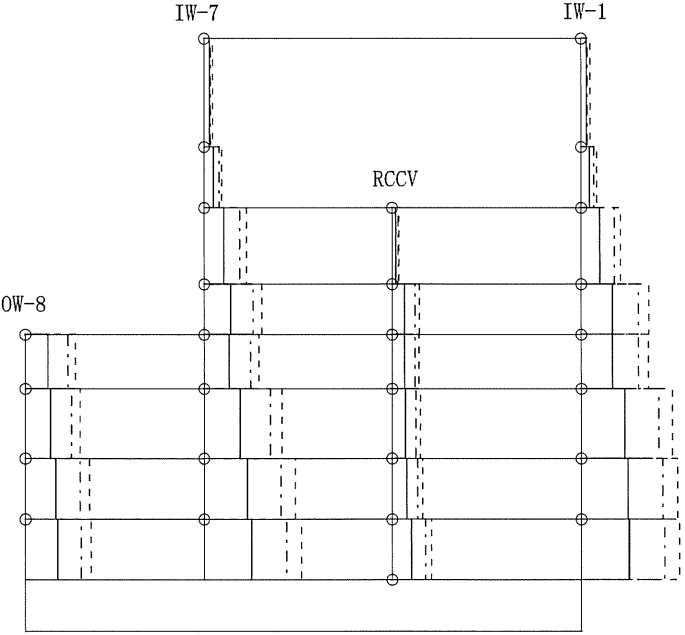


図 5.2.9 各層のせん断変形角 (志賀 2 号機)



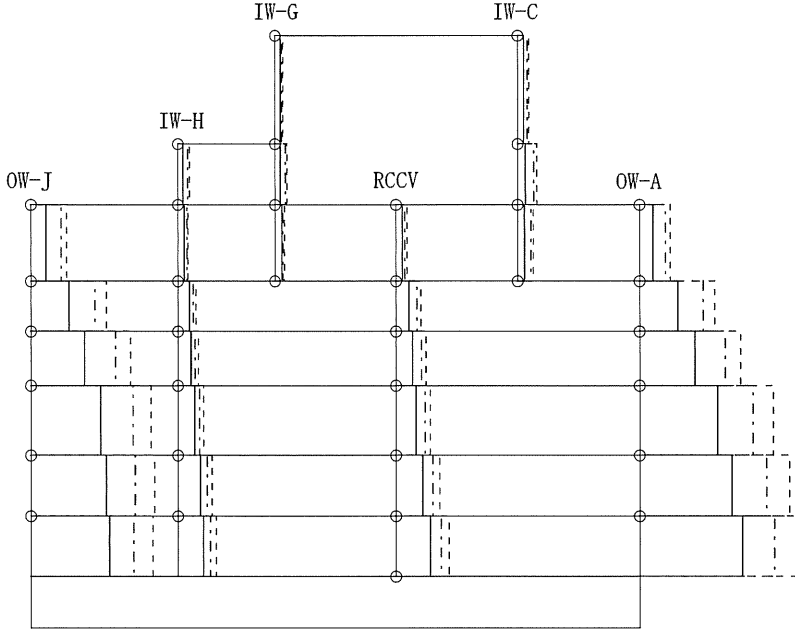
EL+58.85m
EL+47.2m
EL+40.7m
EL+32.5m
EL+27.1m
EL+21.3m
EL+13.8m
EL +7.3m
EL +0.8m
EL -4.7m



NS方向

0 1.0 2.0 ($\times 10^5$ kN)

EL+58.85m
EL+47.2m
EL+40.7m
EL+32.5m
EL+27.1m
EL+21.3m
EL+13.8m
EL +7.3m
EL +0.8m
EL -4.7m



EW方向

0 1.0 2.0 ($\times 10^5$ kN)

図 5. 2. 10 解析により求められた最大せん断力と設計用地震力の比較(志賀2号機)

5.2.4 小結

志賀原子力発電所1号機原子炉建屋および2号機原子炉建屋について、今回の地震において原子炉建屋基礎版上で観測された記録を用いて地震応答解析を行った。その結果、地震応答解析により求められた各階のせん断変形角は、壁のひび割れが発生する変形角の目安値以下であった。

また、最大せん断力は、基準地震動 S_1 による応答値に余裕をみて設定した設計用地震力以下であり、建屋の各階に作用する水平力の総和も、設計用地震力による値を下回っていた。

以上の結果、今回の地震を踏まえても建屋は弾性範囲に十分収まっていることから、建屋の耐震健全性が確保されていることを確認した。

5.3 機器・配管(A, A sクラス)の耐震健全性の確認結果について

原子炉建屋内の安全上重要な機器・配管について、今回の地震観測記録または原子炉建屋基礎版上での観測記録を用いた地震応答解析結果を用いてそれぞれの機器・配管に加わる力を求め、設計で考慮した地震力やそれぞれの設備に求められる許容値と比較することで、耐震健全性が確保されていることを確認する。

5.3.1 機器・配管の耐震健全性の確認方法

機器・配管の耐震健全性が確保されていることを以下の手順で確認する。

- (1) 今回の地震による床応答スペクトルを算定する。
- (2) 機器・配管の固有周期をもとに今回の地震による加速度を求める。
- (3) 設計時に考慮した加速度と比較し、今回の地震による加速度が下回っているかどうかの確認をする。下回っていれば機器・配管の耐震健全性は確保されている。
- (4) 今回の地震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、上回っている範囲を確認し、今回の地震による発生応力を求め許容値を下回っていることにより耐震健全性を確認する。

5.3.2 機器・配管の耐震健全性の確認

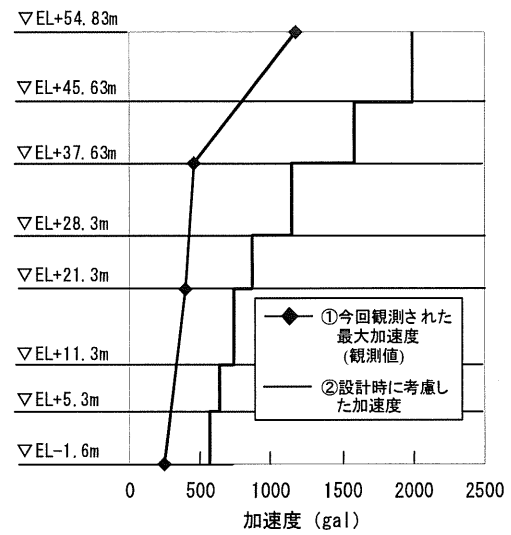
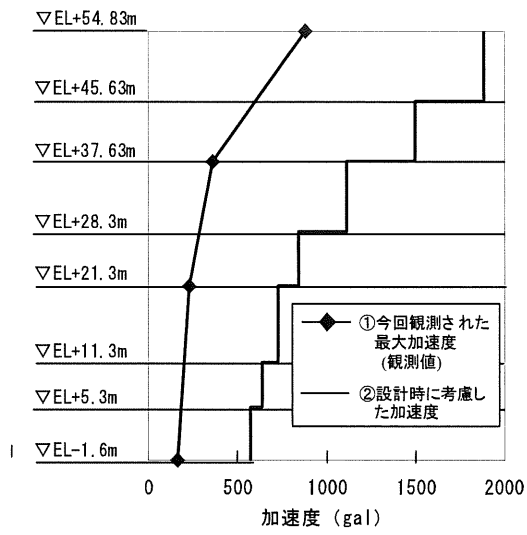
今回の観測記録による1号機原子炉建屋および2号機原子炉建屋の最大加速度を図5.3.1に、設計時に考慮した静的震度3.6C_iから求まる加速度と比較して示す。

これによれば、観測記録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。

また、固有周期が0.05秒を超える機器・配管について、今回の観測記録による原子炉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、設計時に考慮した加速度を比較したところ、

- (1) 今回の地震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。
- (2) 今回の地震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、1号機および2号機の各機器・配管に発生する応力を求めた。その結果を表5.3.1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S₁に対する許容値以下であり、弾性範囲に十分収まっ

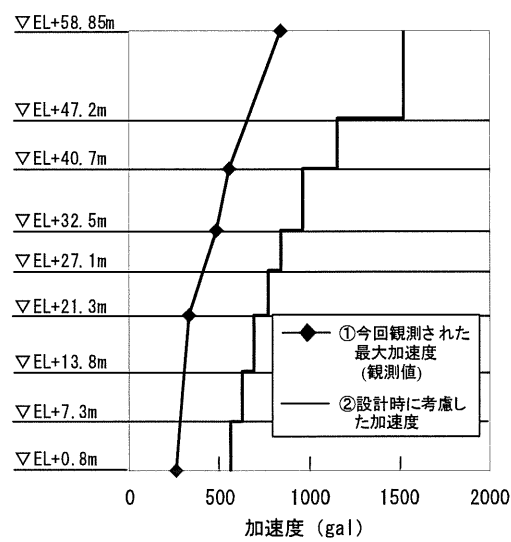
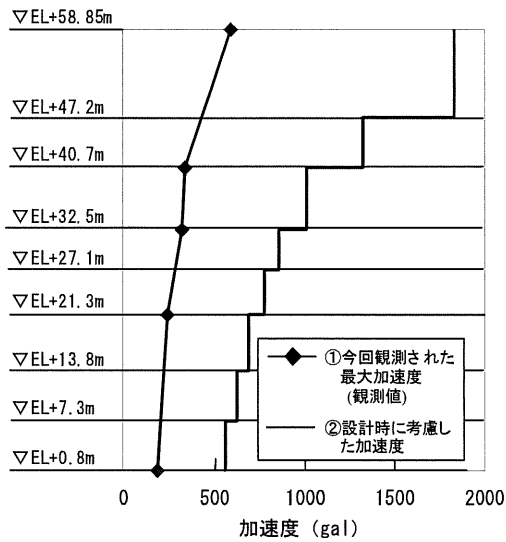
ていることから、これら機器・配管の耐震健全性は確保されていることを確認した。



NS方向

EW方向

志賀 1 号機



NS方向

EW方向

志賀 2 号機

図 5.3.1 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

表 5.3.1 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

(志賀 1 号機)

機器・配管名称	発生応力 (kg/mm ²)	S ₁ 許容値 (kg/mm ²)	判定
残留熱除去系熱交換器	13.8	46.5	○
原子炉冷却材浄化系配管	6.8	18.6	○
低圧炉心スプレイ系配管	19.5	22.4	○
原子炉補機冷却水系配管	9.9	23.3	○
高圧炉心スプレイトーセル補機冷却水系配管	19.9	23.3	○
制御棒駆動系配管	6.0	16.2	○
非常用ガス処理系配管	18.7	21.9	○
可燃性ガス濃度制御系配管	12.0	22.3	○
放射性ドレン移送系配管	18.5	23.5	○
燃料プール冷却浄化系配管	9.1	19.2	○

(志賀 2 号機)

機器・配管名称	発生応力 (N/mm ²)	S ₁ 許容値 (N/mm ²)	判定
使用済燃料貯蔵ラック	90	153	○
原子炉冷却材浄化系配管	78	182	○
残留熱除去系配管	180	209	○
高圧炉心注水系配管	84	188	○
復水給水系配管	151	182	○
非常用ガス処理系配管	78	214	○
制御棒駆動系配管	130	159	○
燃料プール冷却浄化系配管	69	188	○
不活性ガス系配管	129	201	○

6. まとめと今後の取り組み

6.1 保安確認状況

地震発生直後から、保安規定に基づいて各施設の巡視・点検を行ってきた。これまでのところ安全上問題となるものはなかった。

地震発生時、1,2号機とも停止状態であったことから、停止状態で機能要求のある設備・システムの作動試験等を実施したところ、異常はなかった。引き続き1,2号機の定期検査にあわせて、機能要求のある設備・システムの作動試験・機能試験を実施していく。

6.2 志賀原子力発電所の耐震安全性

敷地地盤や1,2号機原子炉建屋において観測された地震記録を基に志賀原子力発電所の耐震安全性について検討してきた。

その結果、基準地震動を設定している解放基盤表面での地震動を算定したところ、この地震動による応答スペクトルは長周期側の一部周期帯において基準地震動 S_2 を超えていた。

しかしながら、志賀原子力発電所では安全上重要な施設のほとんどは剛構造としているため、これらの固有周期は短周期側に集中している。また、この地震動による応答スペクトルが基準地震動 S_2 を上回る周期帯には、安全上重要な施設がないことを確認した。

また、はぎとり波の応答スペクトルは1号機で0.18秒から0.25秒、および0.32秒から長周期側で、2号機では0.18秒から0.25秒、および0.32秒から0.87秒の周期帯で基準地震動 S_1 を超えているものの、安全上重要な施設に影響を与える可能性のある短周期帯では、超えている割合はわずかであるが、念のため、1,2号機の原子炉建屋で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・配管が地震によって受けた力を評価したところ、各施設とも弾性範囲内に十分収まっており、施設の健全性が確保されていることを確認した。

原子力発電所では、基準地震動を設定する基本設計段階、基準地震動を用いて行う詳細設計段階の各段階で十分余裕を見込んでおり、今回の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から、これまでの耐震設計に問題はないものと考えている。

6.3 今後の取り組み

今回、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の機器・配管を対象に原子炉建屋での観測記録を基に健全性を確認した

結果を報告した。引き続き、まだ評価が終了していない主要施設等について、敷地地盤で観測されたはざとり波を基に確認作業を継続していく。

また、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、念のため当該周期で基準地震動 S_2 を上回る地震動を想定し(図6.3.1)、まだ評価が終了していない長周期側の主要施設(原子炉補機冷却水系配管や排気筒)の耐震安全性を確認する。

この検討に用いる地震動の設定にあたっては、今回の地震が比較的敷地近傍で発生した地震であることから、国内外の震源近傍の地震記録を整理して最新の知見として策定された地震動「震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル」(加藤・他, 2004)において、応答スペクトルの長周期側が大きくなっていることを踏まえ、この長周期側の応答スペクトル形状を参考にして定めた。

なお、別途、現在「新耐震指針に照らした耐震安全性評価」を進めているが、今回の地震に関しては各種研究機関で調査研究が開始されており、当社としても今後これらの機関から公表される報告も含め十分な調査を行い、新しい知見が得られれば、評価に反映していく。

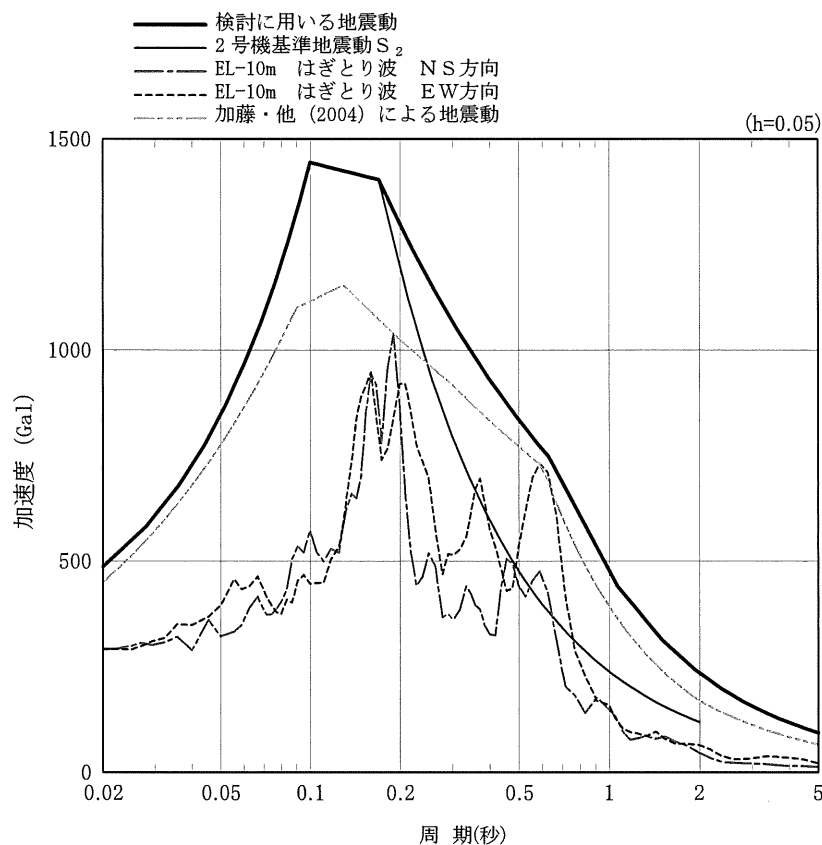


図 6.3.1 検討に用いる地震動の加速度応答スペクトル