

島根原子力発電所 2号炉 審査資料	
資料番号	EP-050 改 52
提出年月日	令和 2年 10月 15日

島根原子力発電所 2号炉

地震による損傷の防止

令和 2年10月

中国電力株式会社

第4条：地震による損傷の防止

<目次>

第1部

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等
 - 1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針
 - 1.1 基本方針
 - 1.2 適用規格
2. 耐震設計上の重要度分類
 - 2.1 重要度分類の基本方針
 - 2.2 耐震重要度分類
3. 設計用地震力
 - 3.1 地震力の算定法
 - 3.2 設計用地震力
4. 荷重の組合せと許容限界
 - 4.1 基本方針
5. 地震応答解析の方針
 - 5.1 建物・構築物
 - 5.2 機器・配管系
 - 5.3 屋外重要土木構造物
 - 5.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備又は津波監視設備が設置された建物・構築物
6. 設計用減衰定数
7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響
8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
9. 構造計画と配置計画

(別添)

- 別添－1 設計用地震力
- 別添－2 動的機能維持の評価
- 別添－3 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価
- 別添－4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－6 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－7 主要建物の構造概要について
- 別添－8 地震応答解析に用いる地質断面図の作成例及び地盤の速度構造

(別紙)

- 別紙－1 設置変更許可申請における既許可からの変更点及び既工認との手法の相違点の整理について
- 別紙－2 建物の地震応答解析モデルについて（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）
- 別紙－3 基礎スラブの応力解析モデルへの弾塑性解析の適用について
- 別紙－4 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用について
- 別紙－5 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙－6 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定について
- 別紙－7 機器・配管系における手法の変更点について
- 別紙－8 サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更について
- 別紙－9 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙－10 水平2方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について
- 別紙－11 液状化影響の検討方針について
- 別紙－12 既設設備に対する耐震補強等について
- 別紙－13 後施工せん断補強筋による耐震補強
- 別紙－14 地震時における燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について
- 別紙－15 動的機能維持評価の検討方針について

- 別紙－１６ 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価について
- 別紙－１７ 地下水位低下設備について
- 別紙－１８ 機器・配管系への制震装置の適用について
- 別紙－１９ 弾性設計用地震動 S_d の設定について

下線は、今回の提出資料を示す。

島根原子力発電所 2 号炉

弾性設計用地震動 S d の設定 について

目 次

1. はじめに
 2. 弾性設計用地震動 S_d の設定について
 - 2.1 弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_s との応答スペクトルの比率に関する知見の整理
 - 2.2 弾性設計用地震動 S_d の役割を踏まえた設定の考え方
 - 2.3 基準地震動 S_1 の果たしてきた役割を踏まえた設定の考え方
 - 2.4 弾性設計用地震動 S_d の設定
 - 2.5 弾性設計用地震動 S_d の年超過確率の参照
 3. 弾性設計用地震動 S_d の設定方法の妥当性について
 4. 参考文献
-
- 添付資料－1 弾性設計用地震動 S_{d-1} を設定した理由及び
 S_{d-1} を設定するメリット・デメリットについて
 - 添付資料－2 弾性設計用地震動 S_{d-1} の模擬地震波の作成

1. はじめに

本資料は、弾性設計用地震動 S_d の設定について説明するものである。

弾性設計用地震動 S_d は、設置許可基準規則解釈 別記 2 及び審査ガイドにおいて、「基準地震動との応答スペクトルの比率の値が、目安として 0.5 を下回らないような値で、工学的判断に基づいて設定すること。」とされている。

ここでは、弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_s との応答スペクトルの比率に関する知見、弾性設計用地震動 S_d の役割及び基準地震動 S_1 の果たしてきた役割を踏まえ、島根 2 号炉における弾性設計用地震動 S_d を設定し、設定した弾性設計用地震動 S_d の年超過確率を参照する。

また、弾性設計用地震動 S_d の設定根拠に関する総合的な比較・整理を行い、島根 2 号炉における設定方法の妥当性を示す。

2. 弾性設計用地震動 S_d の設定について

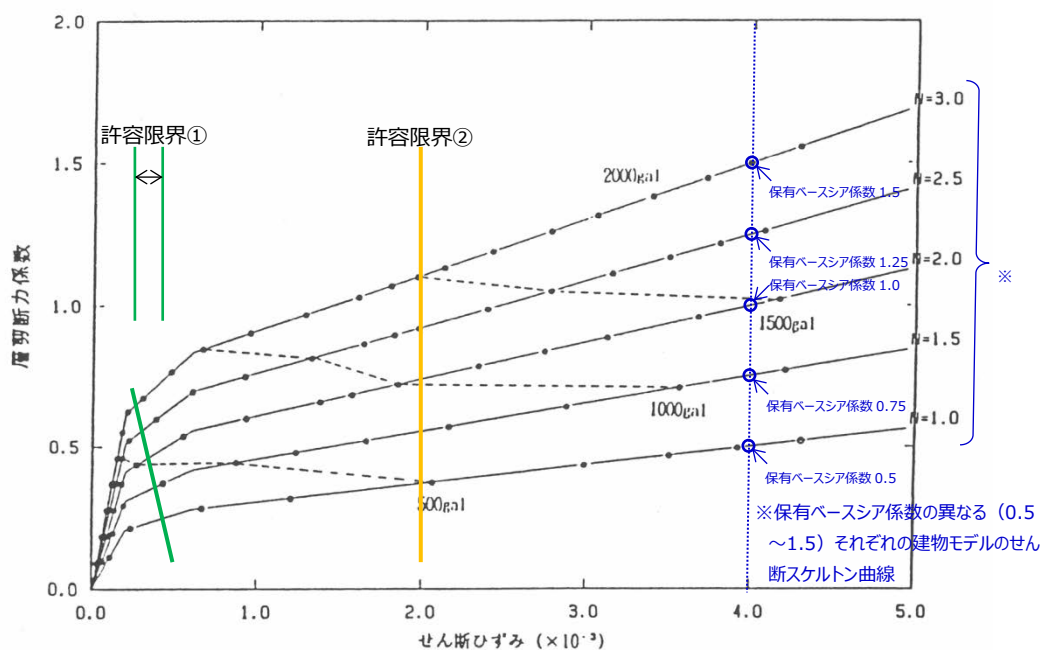
2.1 弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_s との応答スペクトルの比率に関する知見の整理

安全機能限界に対応する入力荷重と弾性限界に対応する入力荷重の比率としての係数 α について、日本電気協会の調査報告⁽¹⁾を参照して評価する。日本電気協会の調査報告には、鉄筋コンクリート造壁式構造の建物を 2 質点系の簡易なスウェイ・ロッキングモデル（原子炉建物の規模を参考に、建物の耐力レベルを変動させた 5 種類の建物モデル）に置換し、入力地震動を 100Gal ずつ順次増加して非線形地震応答解析を行って求められたせん断ひずみと層せん断力係数の関係を示した図があり、この図に許容限界①と許容限界②を加筆したものを第 2.1-1 図に示す。

ここで、許容限界②は、建物はある程度の損傷を受けるがその程度は小さく、終局に対して余裕のある基準地震動 S_s の許容限界（せん断ひずみ度で 2.0×10^{-3} ）を示しており、許容限界①は許容限界②の入力加速度を 1/2 倍とした場合の応答値を示している。

許容限界①の応答値は短期許容応力度相当と考えられ、設置許可基準規則解釈 別記 2 でいう弾性設計用地震動 S_d に求められる「おおむね弾性範囲の設計」と考えられる。

以上より、許容限界①を弾性限界、許容限界②を安全機能限界と捉えた場合、安全機能限界に対応する入力荷重と弾性限界に対応する入力荷重の比率としての α は 0.5 程度の値となる。

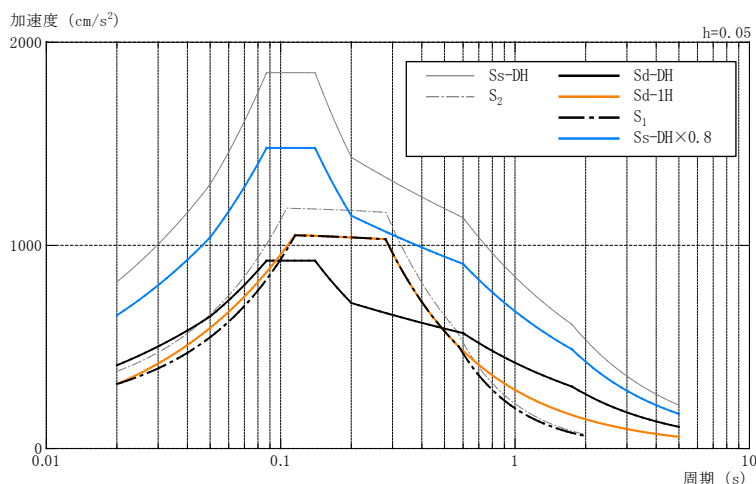


第 2.1-1 図 最大入力加速度とスケルトン上の最大応答
(参考文献(1)より引用，加筆)

2.2 弾性設計用地震動 S_d の役割を踏まえた設定の考え方

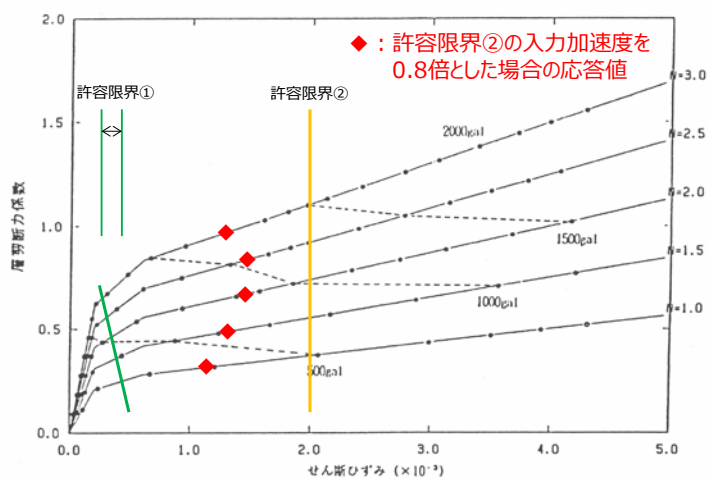
先行プラントの審査実績における設定方法と同じように、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和 56 年 7 月 20 日 原子力安全委員会決定，平成 13 年 3 月 29 日 一部改訂）」（以下「旧指針」という。）における基準地震動 S₁ を弾性設計用地震動 S_d で包絡させる考え方とした場合，基準地震動 S_{s-D} の約 0.8 倍となり，弾性設計用地震動 S_d が基準地震動 S_s に近づき，基準地震動 S_s に対する安全機能の保持をより高い精度で確認するという耐震設計上果たすべき役割から乖離する（基準地震動 S_s に対する安全機能保持を確実にするための弾性設計用地震動 S_d による弾性設計ではなく，弾性設計用地震動 S_d によって構造設計が決定される）。

第 2.2-1 図に示す通り，基準地震動 S₁ は，880 年出雲の地震（M7.4）に基づく大崎スペクトルにより設定されたもので，旧指針の基準地震動 S₂ に対する基準地震動 S₁ の比率も約 8 割～9 割と大きい。また，基準地震動 S₁ と基準地震動 S_{s-D}（宍道断層による地震等を考慮して策定した基準地震動）のスペクトル形状は異なっており，基準地震動 S₁ を包絡する基準地震動 S_{s-D} × 0.8 の短周期側は基準地震動 S₁ の約 1.5～2 倍程度になる。



第 2.2-1 図 基準地震動 $S_s - DH \times 0.8$ のスペクトル

日本電気協会の調査報告による弾性限界（許容限界①）、安全機能限界（許容限界②）の関係図（第 2.2-2 図）に、許容限界②の入力加速度を 0.8 倍とした場合の応答値を◆で示す。これによると、設置許可基準規則解釈 別記 2 という弾性設計用地震動 S_d に求められる「おおむね弾性範囲の設計」とは対応しない。



第 2.2-2 図 弾性限界と安全機能限界の関係図
(参考文献(1)より引用, 加筆)

仮に、弾性設計用地震動 S_d を基準地震動 S_{s-D} の 0.8 倍と設定し弾性設計を行う場合、基準地震動 S_s による応答は安全機能限界以下となると考えられるが、弾性設計用地震動 S_d による弾性設計を行うことで基準地震動 S_s に対する安全機能保持をより高い精度で確実にするという役割からすると、過大なレベルであると考えられる。

弾性設計用地震動 S_d を基準地震動 S_{s-D} の 0.8 倍と設定した場合の耐震評価を、基準地震動 S_s に対する安全機能が保持できる見込みの設備において概算すると、第 2.2-1 表に示す通り、基準地震動 $S_{s-D} \times 0.8$ では弾性限界の目安を超え耐震強化が困難な設備がでる見込みであり、弾性設計用地震動 S_d とするには過大なレベルで、合理的な設計が出来ないと考えている。

第 2.2-1 表 耐震評価の概算

代表設備	地震動	主な評価項目	判定(弾性限界)	備考
炉内構造物 (ブラケット)	S_{d-D}	一次応力	目安値 以下	1 次固有周期： 0.11s (水平方向) ※原子炉圧力容器の 1 次固有周期を示す。
	$S_{s-D} \times 0.8$		目安値を 超える 見込み ^(注1)	
制御室建物 (中央制御室 遮蔽壁)	S_{d-D}	せん断ひずみ, 応力度	目安値 以下	1 次固有周期： 0.14s (NS 方向) 0.12s (EW 方向)
	$S_{s-D} \times 0.8$		目安値を 超える 見込み ^(注2)	

(注1) $S_{s-D} \times 0.8$ によるブラケットの発生応力を評価 ($S_{d-D} (=S_{s-D} \times 0.5)$ による発生応力の割増による概算) した結果、一次応力が許容応力を超える見込みであるが、当該ブラケットは原子炉圧力容器内部の溶接構造物であり、原子炉圧力容器内での照射された材料の溶接による補強は施工上困難。

(注2) $S_{s-D} \times 0.8$ による鉄筋の応力度を評価 ($S_{d-D} (=S_{s-D} \times 0.5)$ による応力度の割増による概算) した結果、せん断応力度が短期許容応力度を超える見込みであるが、中央制御室遮蔽壁(制御室建物の耐震壁を兼ねる)の耐震補強(鉄筋の追加や取替え等)は隣接建物との干渉や施工スペースが狭隘なことから施工上困難。

従って、単純に基準地震動 S_s の係数倍で基準地震動 S_1 を包絡した弾性設計用地震動 S_d を設定することは過大な地震動となり合理的な設計が出来ないことから、弾性設計用地震動 S_d は、弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_s との応答スペクトルの比率に関する知見及び弾性設計用地震動 S_d の役割を踏まえ、基準地震動 S_s に係数 0.5 を乗じて設定する。

2.3 基準地震動 S_1 の果たしてきた役割を踏まえた設定の考え方

平成18年の耐震設計審査指針の改訂に伴いAクラスがSクラスに格上げされたことに鑑み、旧指針において、基準地震動 S_1 がAクラス施設の耐震性を担保（基準地震動 S_1 と組み合わせる荷重の考慮を含む）してきたことを踏まえ、基準地震動 S_1 の応答スペクトルを概ね下回らないよう配慮した地震動も弾性設計用地震動 S_d として追加設定する。

基準地震動 S_1 と弾性設計用地震動 S_{d-1} の地震動の特徴や新旧設計体系の比較、及び基準地震動 S_1 をそのまま用いるのではなく新たに弾性設計用地震動 S_{d-1} （水平・鉛直）を設定した理由を添付資料-1に示す。設計体系の違い及び地震動の特徴を踏まえ、設定した弾性設計用地震動 S_{d-1} が基準地震動 S_1 の果たしてきた役割を果たせるものと判断した。

2.4 弾性設計用地震動 S_d の設定

(1) 弾性設計用地震動 S_d の役割を踏まえた設定

弾性設計用地震動 S_d は、設置許可基準規則及び審査ガイドの要求事項に従って、基準地震動 S_s との応答スペクトルの比率が目安として0.5を下回らないよう基準地震動 S_s に係数0.5を乗じて設定した。なお、係数0.5は、工学的判断として、発電用原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が0.5程度であるという知見を踏まえて設定した。

以上の方法に基づき設定した弾性設計用地震動 S_d を以下に示す。

弾性設計用地震動 S_d : S_{d-D} , F_1 , F_2 , N_1 , N_2

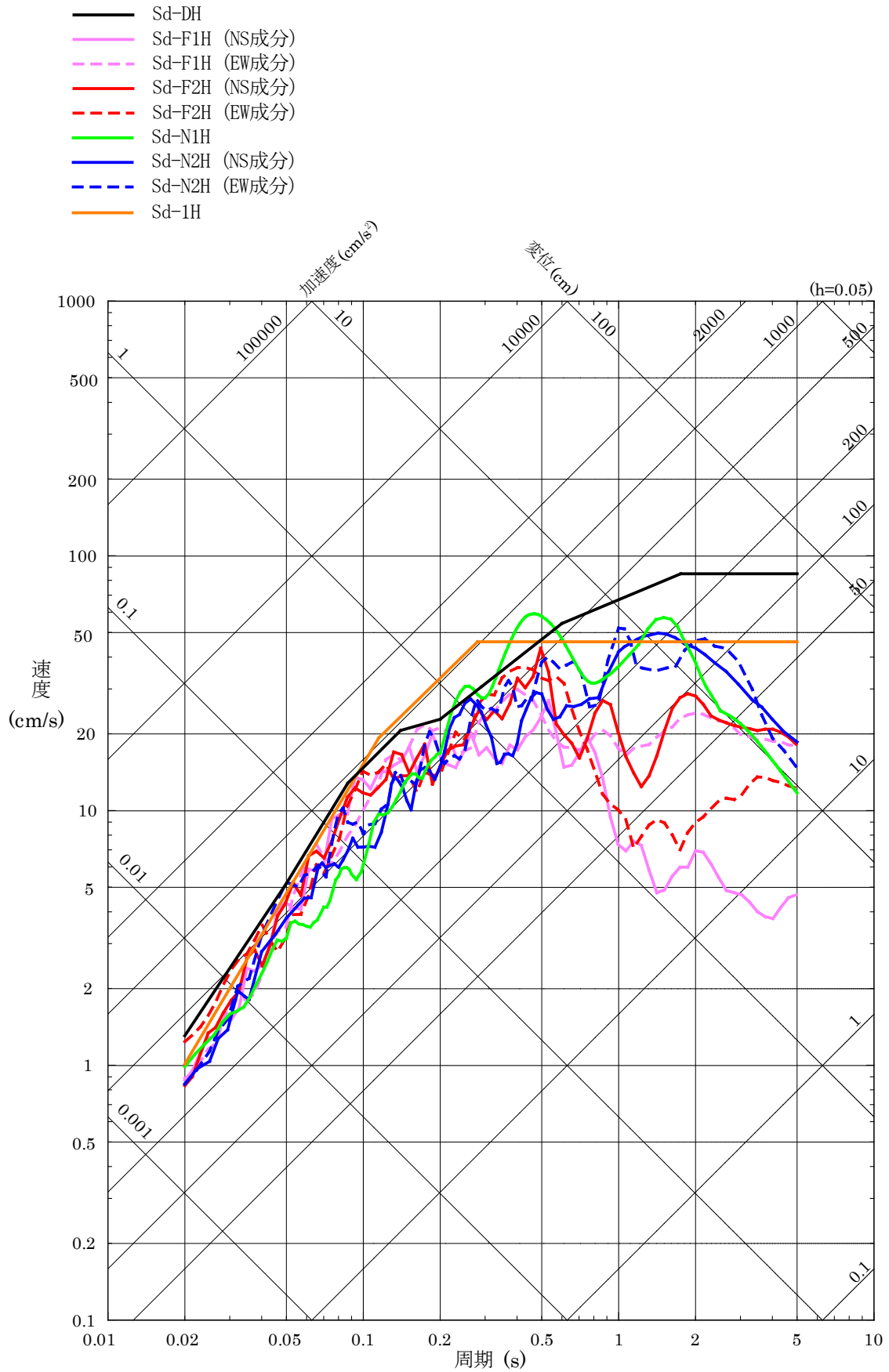
(2) 基準地震動 S_1 の果たしてきた役割を踏まえた設定

基準地震動 S_1 の果たしてきた役割を踏まえ、旧指針における基準地震動 S_1 の応答スペクトルを概ね下回らないよう配慮した地震動も弾性設計用地震動 S_d として設定した。

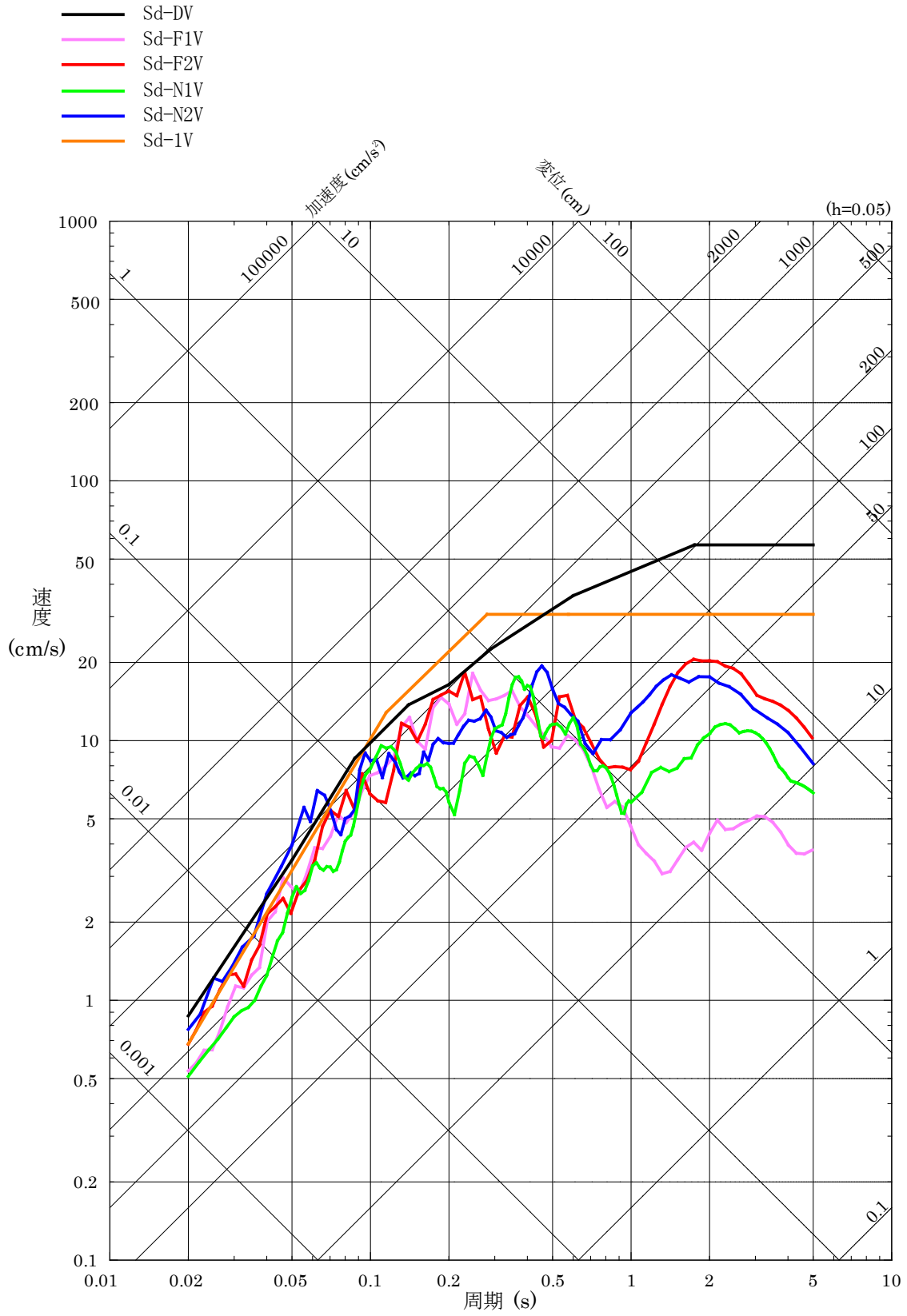
設定した弾性設計用地震動 S_d を以下に示す。

弾性設計用地震動 S_d : S_{d-1}

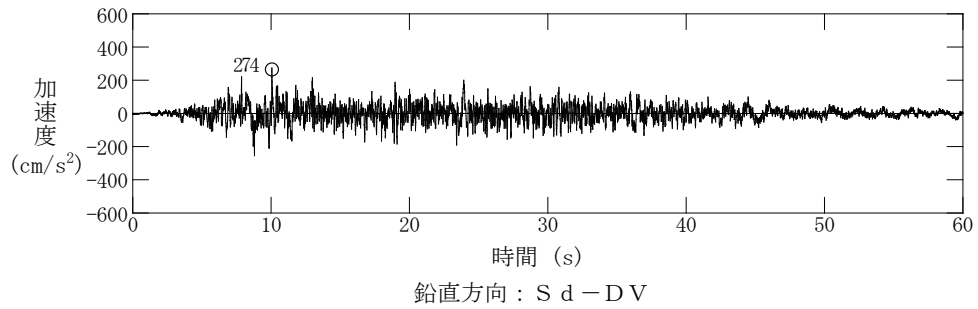
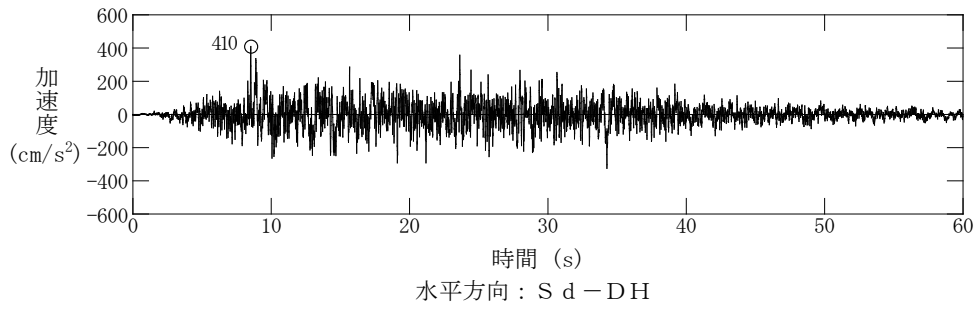
設定した弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトルを第2.4-1図及び第2.4-2図に、加速度時刻歴波形を第2.4-3図～第2.4-8図に、弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_1 の応答スペクトルの比較を第2.4-9図に示す。弾性設計用地震動 S_{d-1} の模擬地震波の作成条件等を添付資料-2に示す。



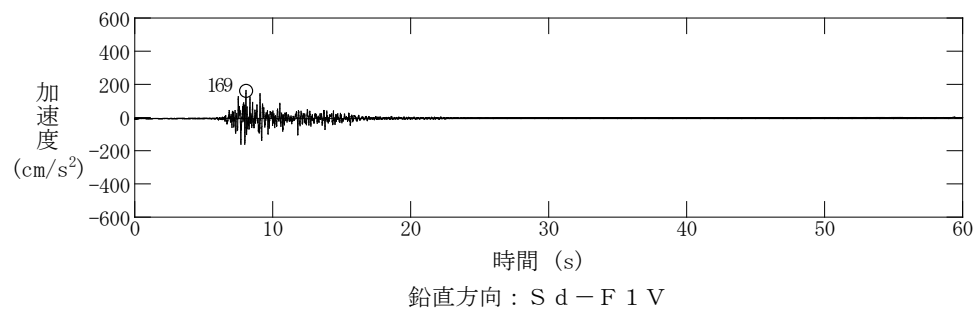
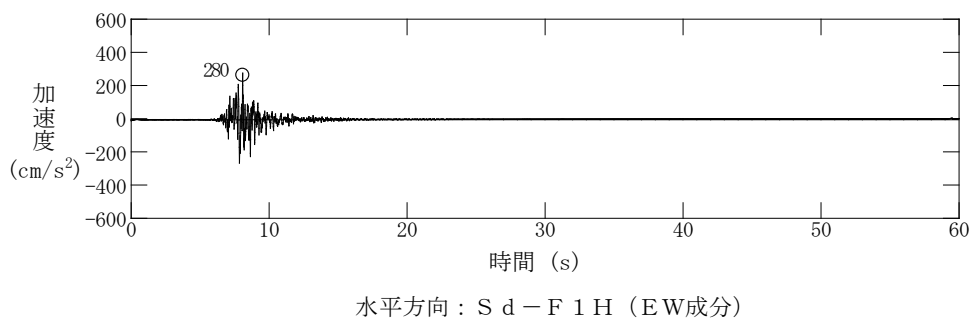
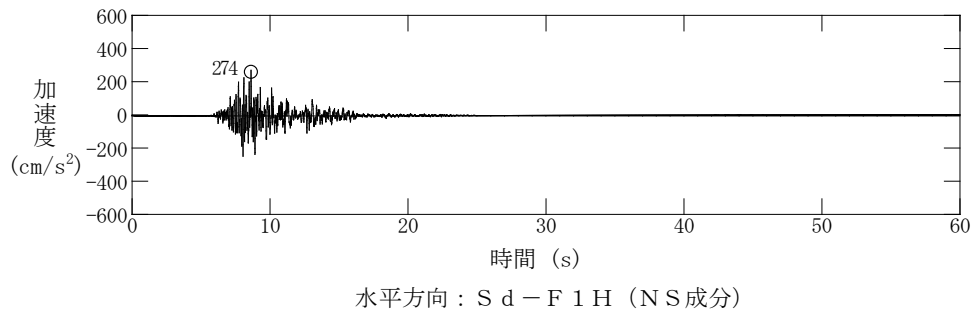
第 2.4-1 図 弾性設計用地震動 S d の応答スペクトル (水平方向)



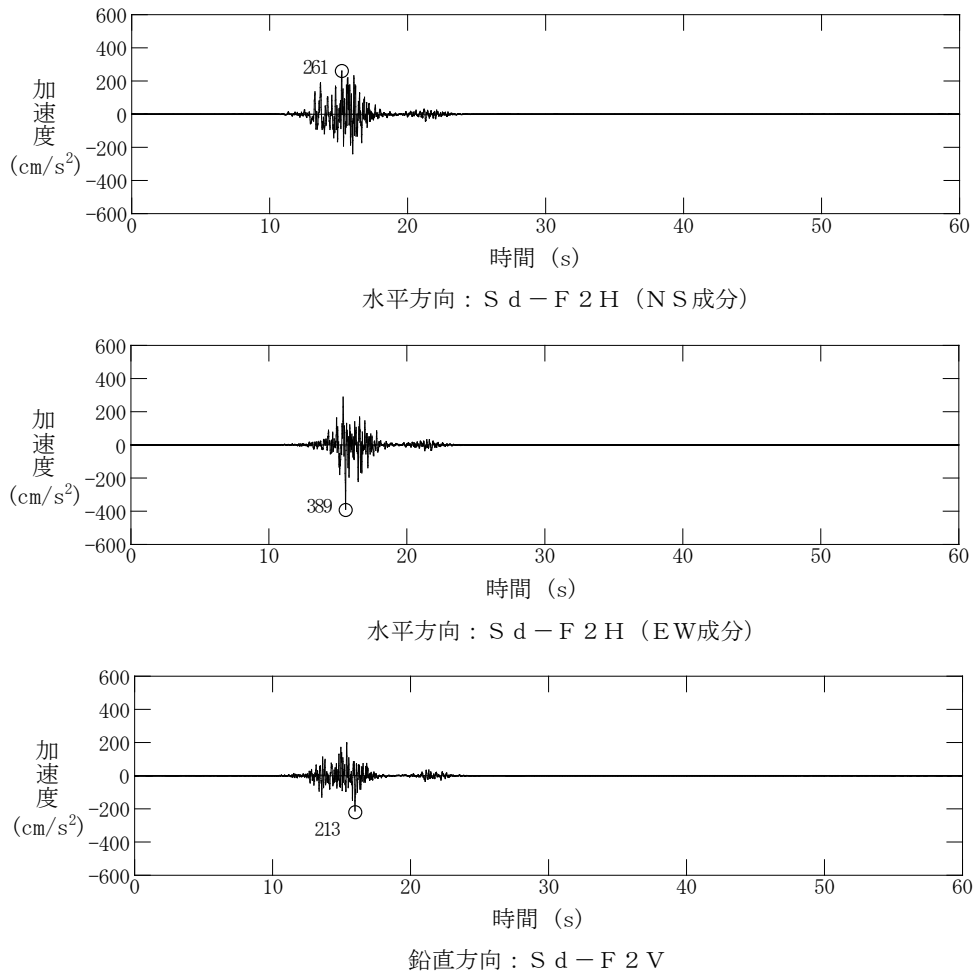
第 2.4-2 図 弾性設計用地震動 S d の応答スペクトル (鉛直方向)



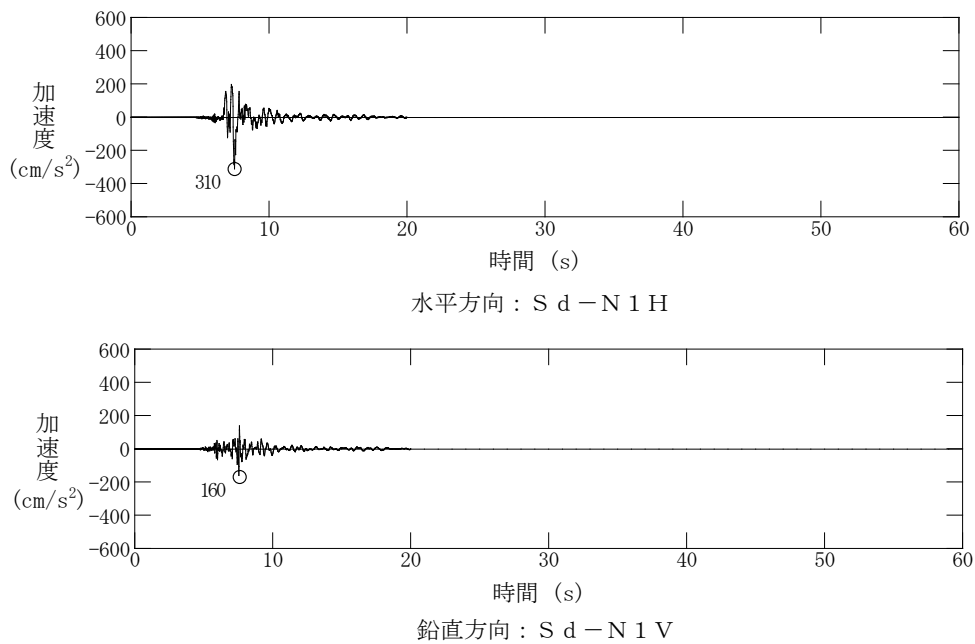
第 2.4-3 図 弾性設計用地震動 S d - D の設計用模擬地震波の
加速度時刻歴波形



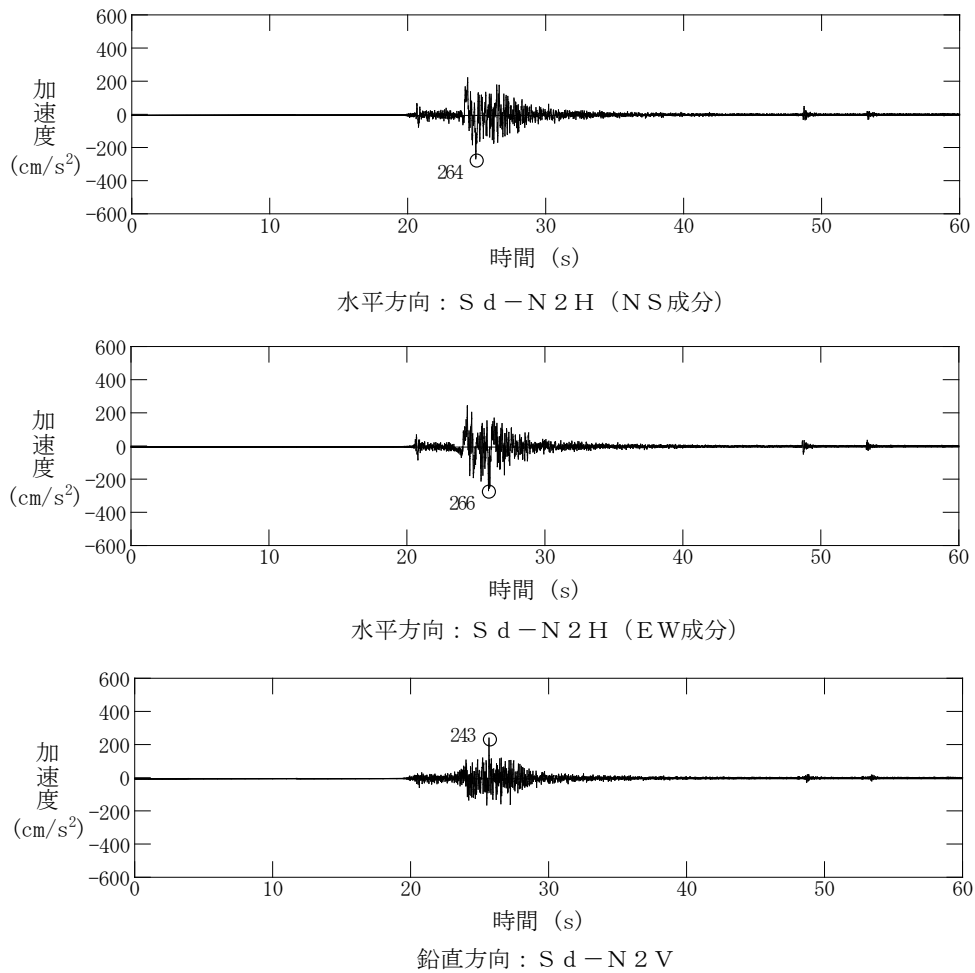
第 2.4-4 図 弾性設計用地震動 S d - F 1 の加速度時刻歴波形
4 条-別紙 19-8



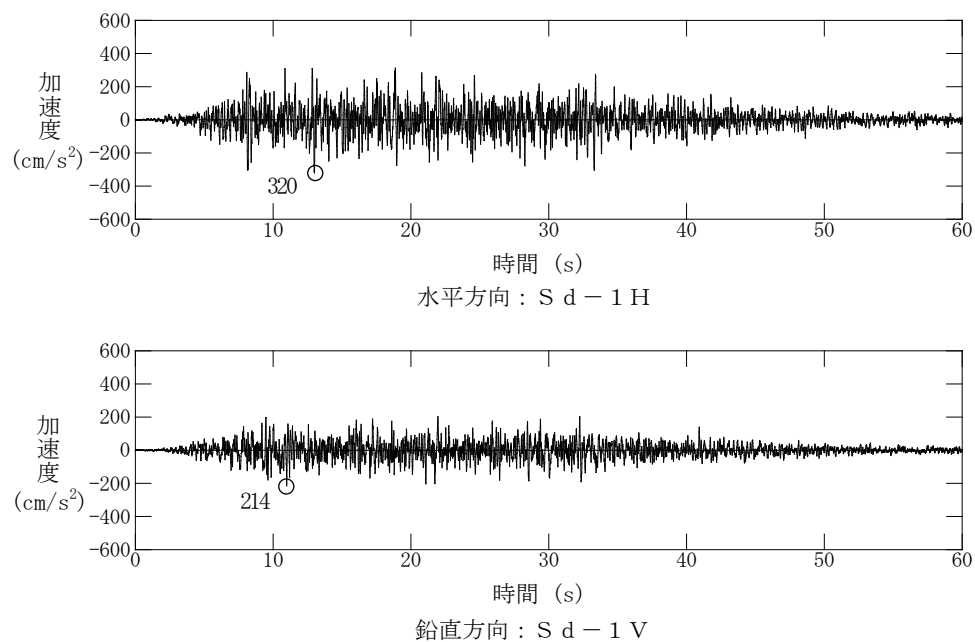
第 2.4-5 図 弾性設計用地震動 S d - F 2 の加速度時刻歴波形



第 2.4-6 図 弾性設計用地震動 S d - N 1 の加速度時刻歴波形



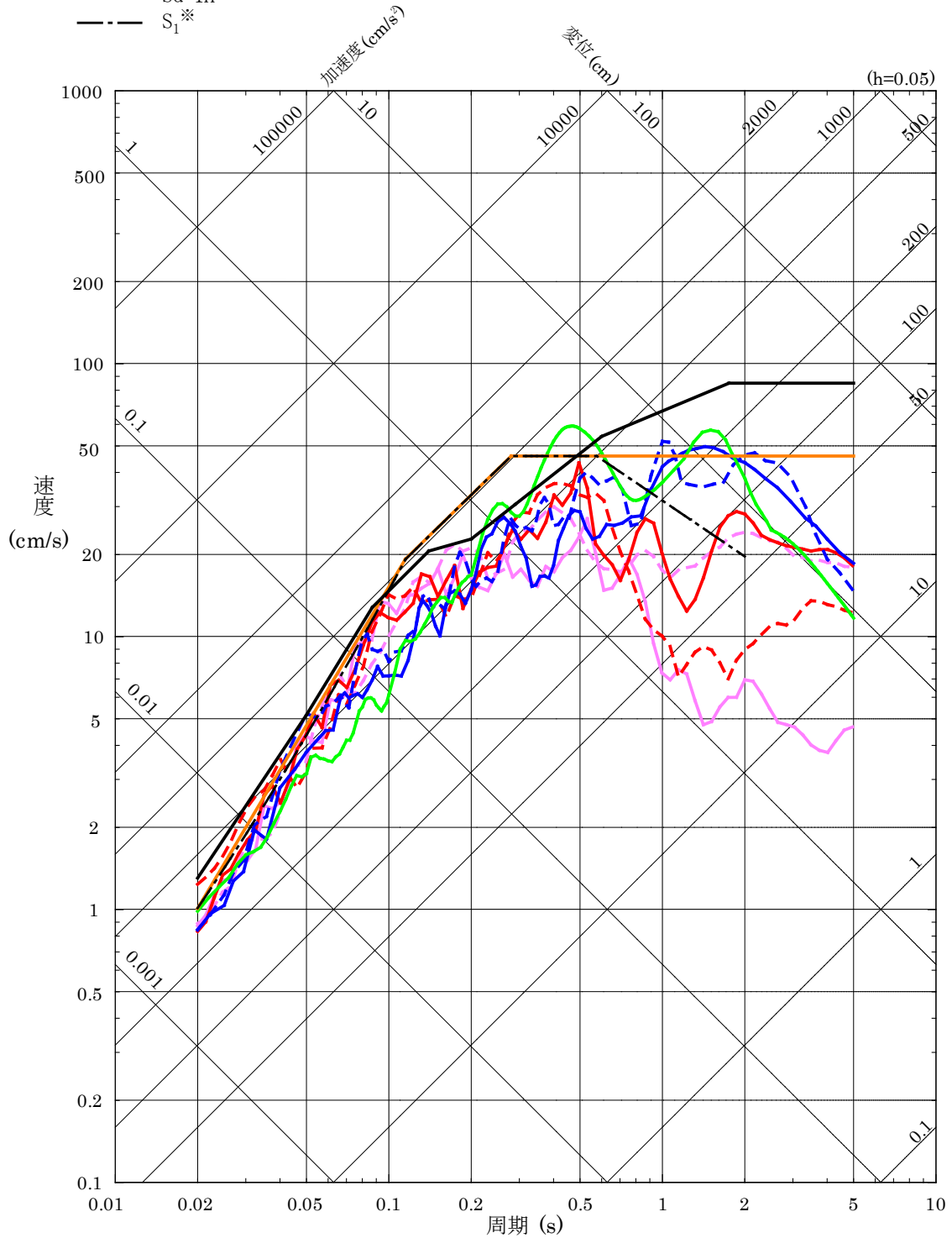
第 2.4-7 図 弾性設計用地震動 S d - N 2 の加速度時刻歴波形



第 2.4-8 図 弾性設計用地震動 S d - 1 の設計用模擬地震波の
加速度時刻歴波形

- Sd-DH
- Sd-F1H (NS成分)
- - Sd-F1H (EW成分)
- Sd-F2H (NS成分)
- - Sd-F2H (EW成分)
- Sd-N1H
- Sd-N2H (NS成分)
- - Sd-N2H (EW成分)
- Sd-1H
- - S₁*

※「原子炉設置変更許可申請書（昭和 58 年 9 月 22 日許可/56 資庁第 10953 号）」における基準地震動 S₁



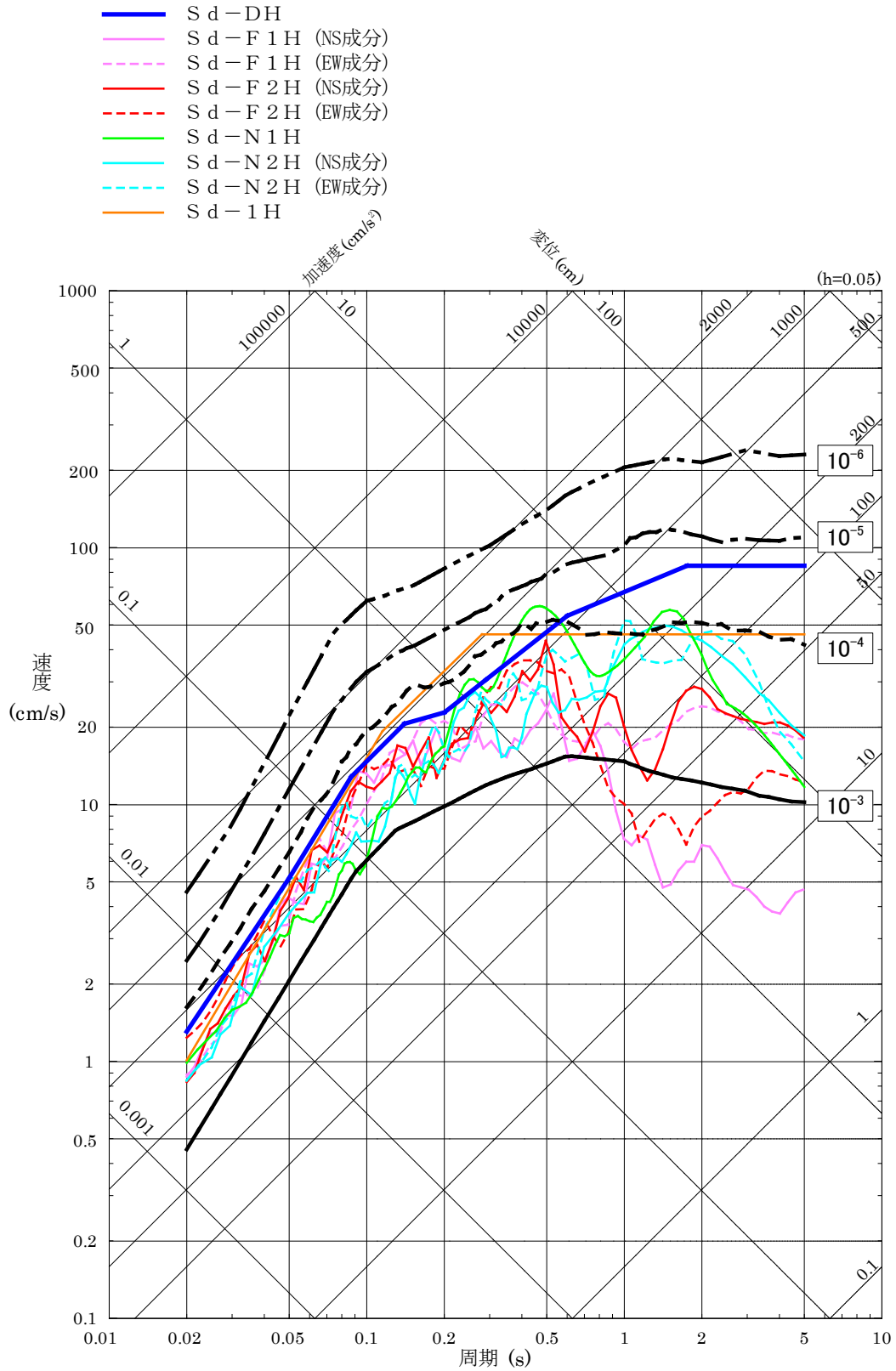
第 2.4-9 図 弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S₁ の
応答スペクトルの比較（水平方向）

2.5 弾性設計用地震動 S_d の年超過確率の参照

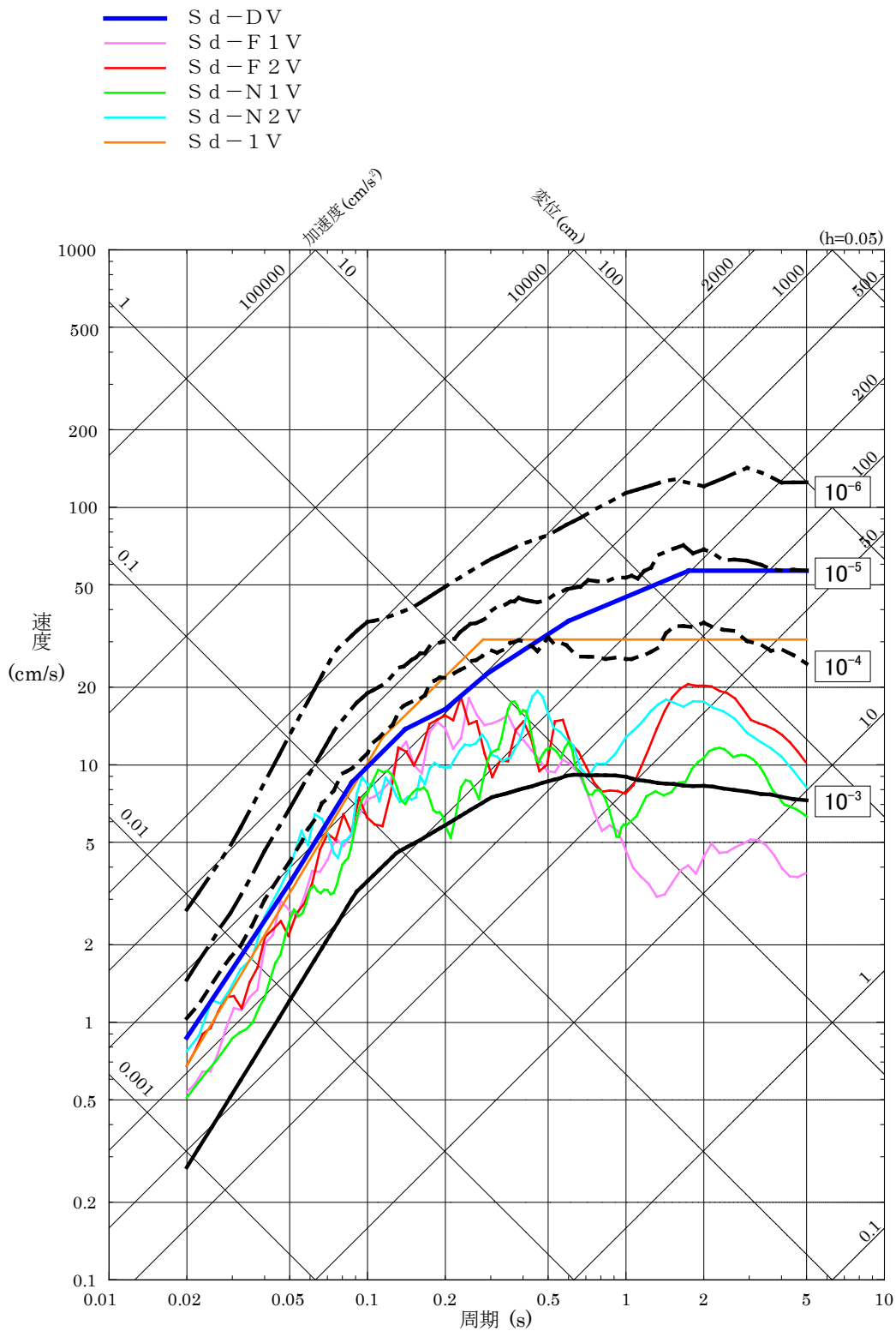
設定した弾性設計用地震動 S_d の年超過確率を参照し、発生確率が妥当な範囲にあることを確認する。弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一樣ハザードスペクトルの比較を第 2.5-1 図及び第 2.5-2 図に示す。弾性設計用地震動 S_d-D の年超過確率は $10^{-3} \sim 10^{-5}$ 程度、弾性設計用地震動 S_d-F1 , S_d-F2 , S_d-N1 及び S_d-N2 は $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度、弾性設計用地震動 S_d-1 は $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度である。

「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」⁽²⁾ (以下「J E A G 4 6 0 1・補-1984」という。)によると、弾性設計用地震動 S_d の発生確率は $10^{-2} \sim 5 \times 10^{-4}$ とされている^(注1)。運転状態と地震による荷重の組合せの検討にあたっては、弾性設計用地震動 S_d の年超過確率を 10^{-2} として設定しており、設定した弾性設計用地震動 S_d の発生確率はこれを大きく下回っている。

(注1) J E A G 4 6 0 1・補-1984 に記載されている地震動の発生確率 S_1 を S_d に読み替えた。



第 2.5-1 図 弾性設計用地震動 S d の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一様ハザードスペクトルの比較 (水平方向)



第 2.5-2 図 弾性設計用地震動 S d の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一樣ハザードスペクトルの比較 (鉛直方向)

3. 弾性設計用地震動 S d の設定方法の妥当性について

弾性設計用地震動 S d の設定根拠に関する総合的な比較・整理を行い，島根 2 号炉における設定方法の妥当性を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 弾性設計用地震動 S d の設定根拠に関する総合的な比較・整理

		島根 2 号炉における 設定方法	先行プラントの審査実績に おける設定方法の場合 (S s - D の約 0.8 倍)
評価項目	①設置許可基準規則及び審査ガイドの要求事項（基準地震動 S s に対する係数）に適合しているか。	◎ (基準地震動 S s に対する係数 0.5)	◎ (基準地震動 S s に対する係数 約 0.8)
	②基準地震動 S s による地震力に対する施設の安全機能の保持をより高い精度で確認するという弾性設計用地震動 S d の役割を踏まえた設定となっているか。	◎	× (弾性設計用地震動 S d が耐震設計上果たすべき役割から乖離し，合理的な設計が出来ない)
	③基準地震動 S 1 の果たしてきた役割を考慮しているか。 (基準地震動 S 1 が施設の耐震性を担保してきたことを踏まえた設定となっているか。)	◎ (基準地震動 S 1 の応答スペクトルを概ね下回らないよう配慮した地震動 S d - 1 を追加設定)	◎
	④弾性設計用地震動 S d の年超過確率を参照し，発生確率が妥当な範囲にあるか。	◎	○
総合評価		◎ ⇒採用	× ⇒採用しない

4. 参考文献

- (1) (社)日本電気協会 電気技術調査委員会 原子力発電耐震設計特別調査委員会 建築部会：静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要），平成 6 年 3 月
- (2) (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

弾性設計用地震動 $S_d - 1$ を設定した理由及び
 $S_d - 1$ を設定するメリット・デメリットについて

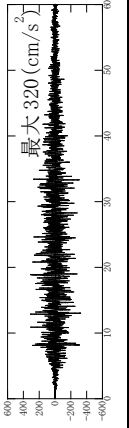
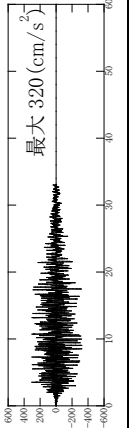
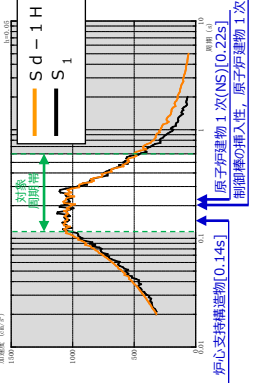
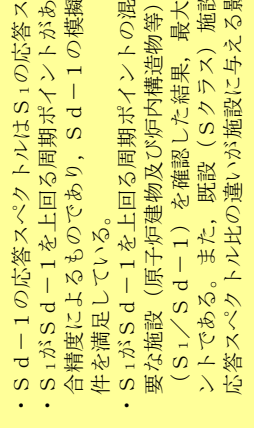
1. 概要

本資料では、基準地震動 S_1 の果たしてきた役割を踏まえ、弾性設計用地震動 $S_d - 1$ を設定した理由及び弾性設計用地震動 $S_d - 1$ を設定するメリット・デメリットについて説明する。

2. 弾性設計用地震動 $S_d - 1$ を設定した理由

基準地震動 S_1 と弾性設計用地震動 $S_d - 1$ の違いについて、それぞれの地震動の特徴や新旧設計体系の違いを踏まえて比較し、基準地震動 S_1 をそのまま用いるのではなく新たに弾性設計用地震動 $S_d - 1$ （水平・鉛直）を設定した理由を第 2-1 表に示す。

第2-1表 弾性設計用地震動S_{d-1}と基準地震動S₁の比較及びS_{d-1}設定の考え方

		S _{d-1}	S ₁ (既許可)	設定の考え方
設計体系	準拠基準 (耐震設計審査指針)	・設置許可基準規則及び審査ガイド (平成18年耐震設計審査指針)	・昭和56年耐震設計審査指針	—
	鉛直地震動の扱い	・鉛直方向の地震動を設定	・動的な鉛直動なし (静的に考慮)	設置許可基準規則及び審査ガイドに基づき、水平方向及び鉛直方向の地震力を適切に組み合わせるため、弾性設計用地震動S _d として鉛直方向の動的な地震動を設定した。
地震動の設定方法	水平・鉛直の組合せ	・S _d による地震力は、水平方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。	・S ₁ による水平地震力を、最大加速度振幅の1/2の値を鉛直震度として求めた鉛直地震力と同時に不利な方向の組合せで作用させる。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。	
	応答スペクトル (コントロールポイント、対象周期)	・添付資料-2のA～Fの6ポイント ・0.02～5.0s ※擬似速度応答スペクトルが両対数軸目盛で直線に設定。 ※コントロールポイントD以降の周期帯で擬似速度応答スペクトルを周期5秒まで一定に設定。	・添付資料-2のA～D、E [※] の5ポイント ・0.02～2.0s ※大崎スペクトルによりコントロールポイントA～B間の擬似加速度応答スペクトルが両対数軸目盛で直線、B～E間は擬似速度応答スペクトルが両対数軸目盛で直線に設定。 注：コントロールポイントEは大崎スペクトルにより、psv=19.69cm/sとしていた。	大崎の方法ではなく、以下に示す審査実績のある考え方にに基づき設定した。 [応答スペクトル] ・S _{d-1} はS ₁ を下回らないようにコントロールポイントを設定し、S _{s-D} と同様に擬似速度応答スペクトルが両対数軸目盛で直線に設定。 ・S _{s-D} や他のS _d に合わせて周期5秒まで設定し、コントロールポイントD以降の周期帯で擬似速度応答スペクトルを一定に設定。 [経時特性] ・S _{d-1} は主要動の長さ及び継続時間が最も長いS _{s-D} に合わせて、継続時間を60.0秒、振幅包絡線の経時的变化を耐震の方法により設定し、S ₁ よりも長く設定。
模擬地震波 (水平方向)	経時特性 (継続時間、振幅包絡線の経時的变化)	・60.0秒 ・耐震の方法 ※基準地震動S _{s-D} と同様に設定	・33.1秒 ・大崎の方法	
	模擬地震波 (水平方向)			S _{d-1} の最大加速度値はS ₁ と同様に320galに設定した。
模擬地震波の応答スペクトル (水平方向) の比較			<ul style="list-style-type: none"> S_{d-1}の応答スペクトルはS₁の応答スペクトルを概ね下回らないことを確認した。 S₁がS_{d-1}を上回る周期ポイントがある(下回る周期ポイントも混在)が、模擬波作成時の適合精度によるものであり、S_{d-1}の模擬地震波は設定したS_{d-1}のスペクトル形状への適合条件を満足している。 S₁がS_{d-1}を上回る周期ポイントの混在する周期帯(約0.12~0.6秒)に固有周期を有する主要な施設(原子炉建物及び炉内構造物等)について、それぞれの周期毎の応答スペクトル比(S₁/S_{d-1})を確認した結果、最大で1.08(制御棒の挿入性)であり、その違いは数パーセントである。また、既設(Sクラス)施設は、S₁による地震力に対して設計していることから、応答スペクトル比の違いが施設に与える影響は軽微と判断した。 	

3. 弾性設計用地震動 $S_d - 1$ を設定するメリット・デメリット

基準地震動 S_1 をそのまま用いるのではなく新たに弾性設計用地震動 $S_d - 1$ (水平・鉛直) を設定するメリット・デメリットを第 3-1 表に示す。また、旧指針において A_s クラス及び A クラスとしていた施設 (第 3-2 表参照) は、基準地震動 S_1 による地震力に対して設計している。

なお、弾性設計用地震動 $S_d - 1$ の設定の考え方は審査実績が無いものであり、弾性設計用地震動 $S_d - 1$ の応答スペクトルは一部周期で基準地震動 S_1 の応答スペクトルを下回っていることから、弾性設計用地震動 $S_d - 1$ の適用性については、詳細設計段階において新旧設計体系の違いを踏まえて対象を適切に選定した上で、説明性向上の観点から弾性設計用地震動 $S_d - 1$ と基準地震動 S_1 の比較照査を行い、要因分析を行う。

第3-1表 弾性設計用地震動Sd-1 (水平・鉛直) を設定するメリット・デメリット

設計体系		Sd-1 設定のメリット	Sd-1 設定のデメリット	備考
準拠基準 (耐震設計審査指針) 鉛直地震動の扱い 水平・鉛直の組合せ	設置許可基準規則及び審査ガイドに基づき、水平方向及び鉛直方向の地震力を適切に組み合わせた評価が行える。	Sd-1 設定のメリット	なし	—
	標準地震動 S _s の審査実績を踏まえた設定が行える。 [応答スペクトル] ・ Sd-1 は S ₁ を下回らないようにコントロールポイントを設定 ・ 周期 5 秒まで設定 [経時特性] ・ 継続時間は基準地震動 S _{s-D} と同様に設定 ・ 振幅包絡線の経時的変化は耐専の方法に基づき設定	Sd-1 設定のメリット	なし	—
地震動の設定方法	標準地震動 S _s の審査実績を踏まえた設定が行える。 [応答スペクトル] ・ Sd-1 は S ₁ を下回らないようにコントロールポイントを設定 ・ 周期 5 秒まで設定 [経時特性] ・ 継続時間は基準地震動 S _{s-D} と同様に設定 ・ 振幅包絡線の経時的変化は耐専の方法に基づき設定	Sd-1 設定のメリット	なし	—
模擬地震波 (水平方向)	Sd-1 の最大加速度値は S ₁ と同様に 320gal に設定し、S ₁ の果たしてきた役割を踏まえた設定が行える。	Sd-1 設定のメリット	なし	—
模擬地震波の応答スペクトル (水平方向) の比較	Sd-1 の応答スペクトルは S ₁ の応答スペクトルを概ね下回らない。	Sd-1 設定のメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・ S₁ が Sd-1 を上回る周期ポイントがある (下回る周期ポイントも混在) ※1。 ・ S₁ が Sd-1 を上回る周期ポイントに固混在する周期帯 (約 0.12~0.6 秒) に固有周期を有する主要な施設 (原子炉建物及び炉内構造物等) がある ※2。 	<p>※1: 模擬波作成時の適合精度によるものである。</p> <p>※2: それぞれの周期毎の応答スペクトル比 (S₁/Sd-1) を確認した結果、最大で 1.08 (制御棒の挿入性) であり、その違いは数パーセントである。また、既設 (Sクラス) 施設は、S₁ による地震力に対して設計している。</p>

第3-2表(1) 既工認における耐震設計の基本方針 (1/2)

表2-1 原子炉施設の耐震設計上の重要度分類

重要度分類 及び定義	機能別分類	主要設備		補助設備		直接支持構造物		間接支持構造物		検計用地震動等	相互影響を考慮すべき設備 適用範囲	検計用地震動等	
		適用範囲	重要度分類	適用範囲	重要度分類	適用範囲	重要度分類	適用範囲	重要度分類				
A s クラス その破損により冷却材喪失をひき起こすおそれのあるものを緊急停止させ、かつ安全停止状態に維持するためには、必要なもの、使用済燃料を貯蔵するための施設及び原子炉格納容器	(i) 「原子炉冷却材圧力バウンダリ」(「軽水炉」についての安全設計に関する審査指針について)に記載されている定義と同一)を構成する配管及び機器	① 原子炉圧力容器 ② 原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁	A s A s	① 隔離弁を閉鎖するに必要な電気及び計装設備	A s	① 原子炉圧力容器支持カート ② 機器・配管及び電気計装設備等の支持構造物	A s A s	① 原子炉圧力容器 ② 原子炉建物 ③ ガンマ線しゃげい壁 ④ 制御室建物 ⑤ 廃棄物処理建物 ⑥ 当該設備の支持構造物	S ₂ S ₂ S ₂ S ₂ S ₂ S ₂				
	(ii) 使用済燃料を貯蔵するための設備	① 燃料プール ② 使用済燃料貯蔵ラック	A s A s			① 当該設備の支持構造物	A s	① 原子炉建物	S ₂	① 原子炉建物天井 ② 燃料取扱設備	S ₁ *1 S ₂ *2		
	(iii) 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための設備及び原子炉格納容器を維持する設備	① 制御棒及び制御棒駆動系 (スクラム機能に属する部分)	A s	① 炉心支持構造物 ② 電気計装設備	A s A s	① 機器・配管及び電気計装設備等の支持構造物	A s	① 原子炉建物 ② 当該設備の支持構造物	S ₂ S ₂				
(iv) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための設備	① 逃がし安全弁 ② 原子炉隔離時冷却系 ③ 高圧炉心スプレイレイ ④ 残留熱除去系 (停止時冷却モード運転に必要な設備) ⑤ 冷却水源としてのサブプレッショナルチャエンバ	A s A s A s A s A s	① 炉心支持構造物 ② 当該主要設備の冷却系 ③ 非常用電源及び計装設備	A s A s A s	① 機器・配管及び電気計装設備等の支持構造物	A s	① 原子炉建物 ② 制御室建物 ③ タービン建物 ④ 廃棄物処理建物 ⑤ 当該設備に係る屋外コンクリートダクト及び海水ポンプ支持構造物 ⑥ 当該設備の支持構造物	S ₂ S ₂ S ₂ S ₂ S ₂					
	(v) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に圧力降壁となり、放射性物質の拡散を直接防ぐための設備	① 原子炉格納容器 ② 格納容器バウンダリに属する配管・弁 *3	A s A s	① 隔離弁を閉鎖するに必要な電気及び計装設備	A	① 機器・配管等の支持構造物 ② 電気計装設備等の支持構造物	A s A	① 原子炉建物 ② 原子炉建物 ③ 制御室建物 ④ 廃棄物処理建物 ⑤ 当該設備の支持構造物	S ₂ S ₁ S ₁ S ₁ S ₁	① 原子炉ウエルシー ② ドア ③ ラグ	S ₂ *2		

※「島根原子力発電所第2号機 第1回工事計画認可申請(昭和59年2月24日認可/58資庁第15180号)」における

添付書類「IV-2-1 耐震設計の基本方針」より抜粋

第3-2表(2) 既工認における耐震設計の基本方針(2/2)

重要度分類 及び定義	機能別分類	主要設備 適用範囲	重要度 分類	補助設備 適用範囲	重要度 分類	直接支持構造物 適用範囲	重要度 分類	間接支持構造物 適用範囲	検討用 地震動等	相互影響を考慮すべき設備 適用範囲	検討用 地震動等
Aクラス 原子炉事故時の際に放射線障害から公衆を守るために必要となるもの及び、喪失が放射線障害を及ぼす恐れのあるもの、ASクラスに属する以外のもの	(I)原子炉冷却材圧力バウンダリー破損事故後、炉心から発生した放射線を除去するために必要な設備	①非常用炉心冷却系 1)高圧炉心スプレイト系 2)低圧炉心スプレイト系 3)残留熱除去系(低圧炉心注水モード運転に必要な設備) 4)自動減圧系 ②冷却水源としてのサブプレッシャポンプ	A	①当該主要設備の冷却系 ②非常用電源及び計装設備 ③中央制御室空調換気系とし、ヤハイ壁	A	1)機器・配管及び電気計装設備等の支持構造物	A	1)原子炉建物 2)制御室建物 3)廃棄物処理建物 4)コンクリートダクト海水ポンプ支持構造物 5)タービン建物 6)当該設備の支持構造物	S1 S1 S1 S1 S1 S1		
	(II)放射性物質の放出を伴うよりな事故の際にその外部放散を抑制するための設備でASクラス(V)以外の設備	① 残留熱除去系(格納容器冷却モード及びスプレイト運転に必要な設備) ② 可燃性ガス濃度制御系 ③ 原子炉建物原子炉棟 ④ 非常用ガス処理系及び排気口 ⑤ 原子炉格納容器圧力低減装置 ⑥ 主蒸気隔離弁漏えい制御系 ⑦ 冷却水源としてのサブプレッシャポンプ	A	① 当該主要設備の冷却系 ② 非常用電源及び計装設備 ③ 原子炉格納容器系 ④ 非常用ガス処理系及び排気口 ⑤ 原子炉格納容器圧力低減装置 ⑥ 主蒸気隔離弁漏えい制御系 ⑦ 冷却水源としてのサブプレッシャポンプ	A	1)機器・配管及び電気計装設備等の支持構造物	A	1)原子炉建物 2)排気筒及びその基礎 3)制御室建物 4)廃棄物処理建物 5)タービン建物 6)当該設備に係る屋外コンクリートダクト及び海水ポンプ支持構造物 7)当該設備の支持構造物	S1 S1 S1 S1 S1 S1 S1		
	(III)その他 *4	① 燃料プールの水補給設備(非常用) ② 圧力水注入系 ③ 炉内構造物	A A A	① 非常用電源及び計装設備	A	1)機器・配管及び電気計装設備等の支持構造物	A	1)原子炉建物 2)制御室建物 3)廃棄物処理建物 4)タービン建物 5)当該設備の支持構造物 1)原子炉建物 2)原子炉圧力容器 ペデスタル	S1 S1 S1 S1 S1 S1		

※「島根原子力発電所第2号機 第1回工事計画認可申請(昭和59年2月24日認可/58資庁第15180号)」における

添付書類「IV-2-1 耐震設計の基本方針」より抜粋

弾性設計用地震動 S d - 1 の模擬地震波の作成

1. 概要

本資料では、弾性設計用地震動 S d - 1 の模擬地震波の作成及び作成した模擬地震波の適合確認について説明する。

2. 弾性設計用地震動 S d - 1 の模擬地震波の作成

2.1 応答スペクトルのコントロールポイント

弾性設計用地震動 S d - 1 のコントロールポイントを第 2-1 表に示す。

水平方向の弾性設計用地震動 S d - 1 H は、基準地震動 S₁ の応答スペクトルを下回らないようにコントロールポイントを設定する。鉛直方向の弾性設計用地震動 S d - 1 V は、水平方向の 2/3 倍を下回らないようにコントロールポイントを設定する。

第 2-1 表 弾性設計用地震動 S d - 1 のコントロールポイント

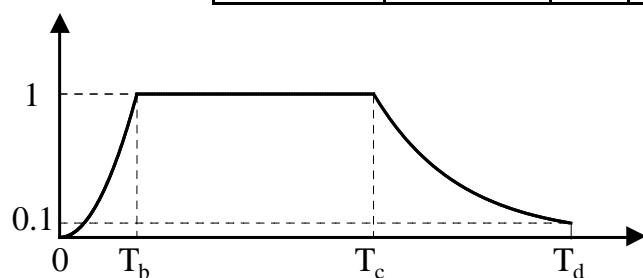
S d - 1 コントロール ポイント (注1)	周期 (s)		A	B	C	D	E	F
			0.02	0.115	0.280	0.575	2.00	5.00
S d - 1 H	速度 (cm/s)		1.01	19.26	45.94	45.94	45.94	45.94
	S d - 1 V	速度 (cm/s)	0.68	12.84	30.63	30.63	30.63	30.63

(注1) S₁は大崎スペクトルにより A B間の擬似加速度応答スペクトルが両算術目盛で直線であったが、S d - 1はこれを包絡するように擬似速度応答スペクトルが両対数軸目盛で直線とする。また、S₁は 880 年出雲の地震 (M7.4) の諸元を基に大崎スペクトルにより周期 2 秒まで設定していたが、S d - 1はコントロールポイント D以降の周期帯で擬似速度応答スペクトルを周期 5 秒まで一定に設定する。

2.2 振幅包絡線の経時的変化

弾性設計用地震動 S d - 1 の応答スペクトルに適合する模擬地震波を、乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成する。振幅包絡線の経時の変化は、主要動の長さ及び継続時間が最も長い基準地震動 S s - D の模擬地震波と同様とする。弾性設計用地震動 S d - 1 の模擬地震波の振幅包絡線の経時の変化を第 2-1 図に示す。

模擬地震波	最大加速度 (cm/s ²)	振幅包絡線の経時の変化 (s)		
		T _b	T _c	T _d (継続時間)
S d - 1 H	320	8.3	28.7	60.0
S d - 1 V	214			



(注1) S₁は880年出雲の地震(M7.4)の諸元を基に大崎の方法により、継続時間を33.1秒、振幅包絡線の経時の変化を設定していたが、S d - 1はS s - Dと同様に継続時間を60.0秒、振幅包絡線の経時の変化を耐専の方法により設定する。

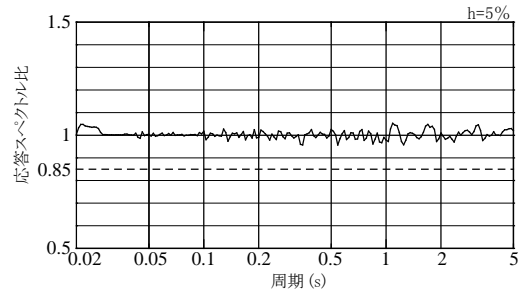
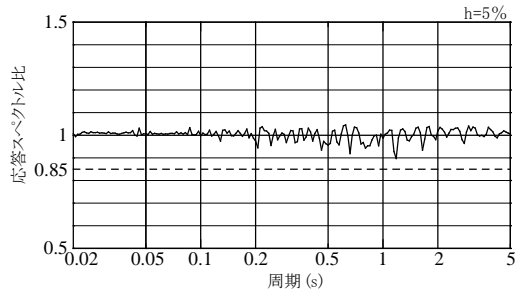
第 2-1 図 弾性設計用地震動 S d - 1 の模擬地震波の振幅包絡線の経時の変化

3. 作成した模擬地震波の適合確認

作成した弾性設計用地震動 S d - 1 の模擬地震波が、基準地震動 S s - D 策定の際と同様に、日本電気協会(2008)⁽¹⁾に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認する。

- (i) 目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比が全周期帯で 0.85 以上
- (ii) 応答スペクトル強さの比 (S I 比) が 1.0 以上

適合度の確認結果を第 3-1 図及び第 3-1 表に示す。作成した模擬地震波が適合度の条件を満足していることを確認した。



(水平方向 : S d - 1 H)

(鉛直方向 : S d - 1 V)

第 3-1 図 弾性設計用地震動 S d - 1 の応答スペクトル比

第 3-1 表 弾性設計用地震動 S d - 1 の応答スペクトル強さの比 (S I 比)

応答スペクトル	S I 比 (周期 0.1~2.5 秒)
S d - 1 H	1.00
S d - 1 V	1.00

$$S I \text{ 比} : \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt}$$

S I : 応答スペクトル強さ (減衰定数 h = 5%)
 $S_v(T)$: 模擬地震波の速度応答スペクトル (cm/s)
 $\bar{S}_v(T)$: 目標とする速度応答スペクトル (cm/s)
 T : 固有周期 (秒)

4. 参考文献

- (1) (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 - 2008