

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密あるいは防護上の観点  
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	補足-340-2 改 6
提出年月日	平成 30 年 7 月 13 日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-2 【耐震評価対象の網羅性、既工認との手法の相

違点の整理について】

平成 30 年 7 月

日本原子力発電株式会社

改定履歴

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改0	2018年2月26日	資料番号「補足-342」として提出
改1	2018年3月2日	添付-8(耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認)の追加
改2	2018年3月6日	添付7(既工認との手法の相違(機電分))の追加
改0	2018年3月22日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 資料番号を「補足-342」から「補足-340-2」に変更</li> <li>・ 添付4-2(建物・構築物, 土木構築物及び浸水防護施設の耐震評価フロー並びに評価対象一覧)の追加</li> <li>・ 添付7(既工認との手法の相違(建物・構築物分))の追加</li> </ul>
改1	2018年3月26日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1章, 2章のうち建物・構築物及び屋外重要土木構築物に係る箇所の追加</li> <li>・ 添付-1, 添付4-1, 添付4-2, 添付-7(建物・構築物, 土木構築物)の追加</li> </ul>
改2	2018年4月17日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1.1.2(2)の記載見直し, 補足1(弾性設計用地震動<math>S_d</math>の等価繰返し回数の設定について), 添付-8(耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について)の資料見直し</li> </ul>
改3	2018年5月11日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 添付8の記載の適正化</li> </ul>
改4	2018年5月22日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本文の記載の適正化</li> <li>・ 添付-1, 2, 3, 4-1, 7, 7-3の記載の適正化</li> <li>・ 添付-2-1, 2-2, 2-6, 2-8, 7-7の追加及び添付2-4, 5の削除</li> </ul>
改5	2018年7月11日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本文の記載の適正化</li> <li>・ 添付-6の追加</li> <li>・ 添付-2-6, 2-8, 7, 7-7の記載の適正化</li> </ul>
改6	2018年7月13日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>S_d</math>の等価繰返し回数を見直したことによる1.1.2(2)の記載見直し, 補足1(弾性設計用地震動<math>S_d</math>の等価繰返し回数の設定について)を削除, 添付-8(耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について)の資料見直し</li> </ul>

## 目 次

1. 東海第二発電所における耐震評価について	1
1.1 耐震Sクラス施設の評価（耐震Sクラス設備への波及的影響評価及び非常用取水設備含む）	4
1.1.1 基準地震動 $S_s$ による評価	4
(1) 別表第二を踏まえた対象設備の網羅性について	4
(2) 対象設備の評価部位の網羅性について	4
(3) 対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性について	11
(4) 対象設備の耐震重要度分類の区分（主要設備等）を踏まえた整理について	11
(5) 別表第二の対象外である耐震Sクラス施設の耐震安全性評価結果	12
(6) 地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて	12
1.1.2 弾性設計用地震動 $S_d$ による評価	13
(1) 弾性設計用地震動 $S_d$ による評価のうち、一次＋二次応力評価の省略について	16
(2) <u>弾性設計用地震動<math>S_d</math>による評価のうち、一次＋二次＋ピーク応力評価（疲労評価）の省略について</u>	<u>17</u>
1.1.3 静的地震力による評価	19
1.2 耐震Bクラス施設の評価	22
1.3 耐震Cクラス施設の評価	22
1.4 耐震Sクラス設備の間接支持構造物の評価	22
1.5 耐震Bクラス設備の間接支持構造物の評価	23
1.6 耐震Cクラス設備の間接支持構造物の評価	23
2. 東海第二発電所の既工認との手法の相違点の整理について	24
2.1 既工認との手法の整理一覧	24
2.2 相違点及び適用性の説明	24
2.2.1 機器・配管系	24
2.2.1.1 手法の相違点	24
2.2.1.2 手法の変更項目に対する東海第二発電所への適用性	26
2.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物	28
2.2.2.1 建物・構築物	28
2.2.2.2 屋外重要土木構造物	30
2.2.2.3 浸水防護施設	30

【添付資料】

添付-1 別表第二を踏まえた対象設備の網羅性

添付-2 対象設備の評価部位の網羅性

添付2-1 中性子計測ハウジング貫通部及び中性子計測ハウジングの評価省略理由

添付2-2 原子炉圧力容器スタビライザディスクスプリングの評価省略理由

添付2-3 炉心支持板スタッドの評価省略理由

添付2-4 (欠番)

添付2-5 (欠番)

添付2-6 ドライウェルビームシートの評価省略理由

添付2-7 脚材(非常用ガス再循環フィルタトレイン及び非常用ガス処理系フィルタトレイン)の評価省略理由

添付2-8 鉛直方向動的地震力の導入による影響検討について

添付-3 対象設備の評価項目(応力分類)の網羅性

添付4-1 対象設備の耐震重要度分類の区分(主要設備等)を踏まえた整理

添付4-2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の耐震評価フロー並びに評価対象一覧

添付-5 別表第二に記載のない耐震Sクラス施設の耐震安全性評価結果

添付-6 既設設備(機器・配管系)の静的地震力による評価結果

添付-7 既工認との手法の整理一覧

添付7-1-1 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について

添付7-1-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について

添付7-2 ポンプ等の解析モデルの精緻化について

添付7-3 容器等の応力解析へのFEMモデルの適用について

添付7-4 最新知見として得られた減衰定数の採用について

添付7-5 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて

添付7-6 鉛直方向応答解析モデルの追加について

添付7-7 炉心シュラウド等の公式等による評価について

添付-8 耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について

添付-9 工認耐震計算書に地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて

下線：本日ご提出資料

- (2) 弾性設計用地震動  $S_d$  による評価のうち、一次＋二次＋ピーク応力評価（疲労評価）の省略について

一次＋二次＋ピーク応力評価については、地震動により算定した評価用等価繰り返し回数を用いた疲労評価を行っている。評価用等価繰り返し回数は、J E A G 4601-1987の記載に示すピーク応力法により設定している。

以下に許容繰り返し回数及び等価繰り返し回数の関係性から弾性設計用地震動  $S_d$  による一次＋二次＋ピーク応力について、**弾性設計用地震動  $S_d$  の等価繰り返し回数が基準地震動  $S_s$  の等価繰り返し回数より少ない場合**、基準地震動  $S_s$  に対する評価で代表できることを説明する。

#### 【許容繰り返し回数（許容限界）】

弾性設計用地震動  $S_d$  の地震加速度は基準地震動  $S_s$  の地震加速度に対して  $1/2$  程度であることから、一次＋二次＋ピーク応力（以下「ピーク応力」という。）が  $1/2$  程度になると考えれば、設計疲労線図から求める許容繰り返し回数としては  $5 \sim 10$  倍程度（図3）となる。

#### 【等価繰り返し回数（発生値）】

等価繰り返し回数  $N_e$  は、疲れ累積係数  $UF$  と最大ピーク応力に対する許容繰り返し回数  $N_0$  の積から求められる。

$$N_e = UF \times N_0$$

なお、疲れ累積係数  $UF$  は、以下の式から求まる。ここで、 $N_i$  は地震により発生する応力時刻歴波の各ピーク応力の許容繰り返し回数であり、 $n$  はピーク数である。

$$UF = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{N_i}$$

弾性設計用地震動  $S_d$  の応力時刻歴波の各ピーク応力は、前述のとおり弾性設計用地震動  $S_d$  の地震加速度は基準地震動  $S_s$  の地震加速度に対して  $1/2$  程度であるとする、基準地震動  $S_s$  の各ピーク応力より小さくなることから、各ピーク応力の許容繰り返し回数は増加し、疲れ累積係数  $UF$  は減少する。最大ピーク応力  $N_0$  は増加するが、図3に示す通り、低いピーク応力における許容繰り返し回数の増加量の方が大きくなることから、疲れ累積係数  $UF$  の減少量の方が大きくなるため、弾性設計用地震動  $S_d$  1回分の等価繰り返し回数  $N_e$  は基準地震動  $S_s$  の等価繰り返し回数より少なくなる。そのため、弾性設計用地震動  $S_d$  1回分の等価繰り返し回数は基準地震動  $S_s$  の等価繰り返し回数と同じとする。なお、東海第二発電所の弾性設計用地震動  $S_d$  については、基準地震動  $S_s$  より地震の発生頻度が多いことを踏まえ、2回分を考慮し、一律に定める等価繰り返し回数は、基準地震動  $S_s$  1回分で160回、弾性設計用地震動  $S_d$  2回分で320回とする。

ただし、本値は原子炉建屋内の各設備に対して一律に定めた値のため、弾性設計用地震動  $S_d$  2回分の等価繰り返し回数を設備毎に個別に算出した場合、160回より少なくなる場合がある。

以上のとおり，弾性設計用地震動  $S_d$  の等価繰返し回数が 160 回以上の場合は，弾性設計用地震動  $S_d$  に対する疲労評価を実施するが，個別に算出した弾性設計用地震動  $S_d$  の等価繰返し回数が 160 回以下となる場合，設計用地震動  $S_s$  の等価繰返し回数である 160 回を用いることは保守的であり，さらに，許容繰返し回数が少ない基準地震動  $S_s$  を用いた評価のほうが，弾性設計用地震動  $S_d$  による評価より厳しい結果となることから，基準地震動  $S_s$  の評価で代表できる。

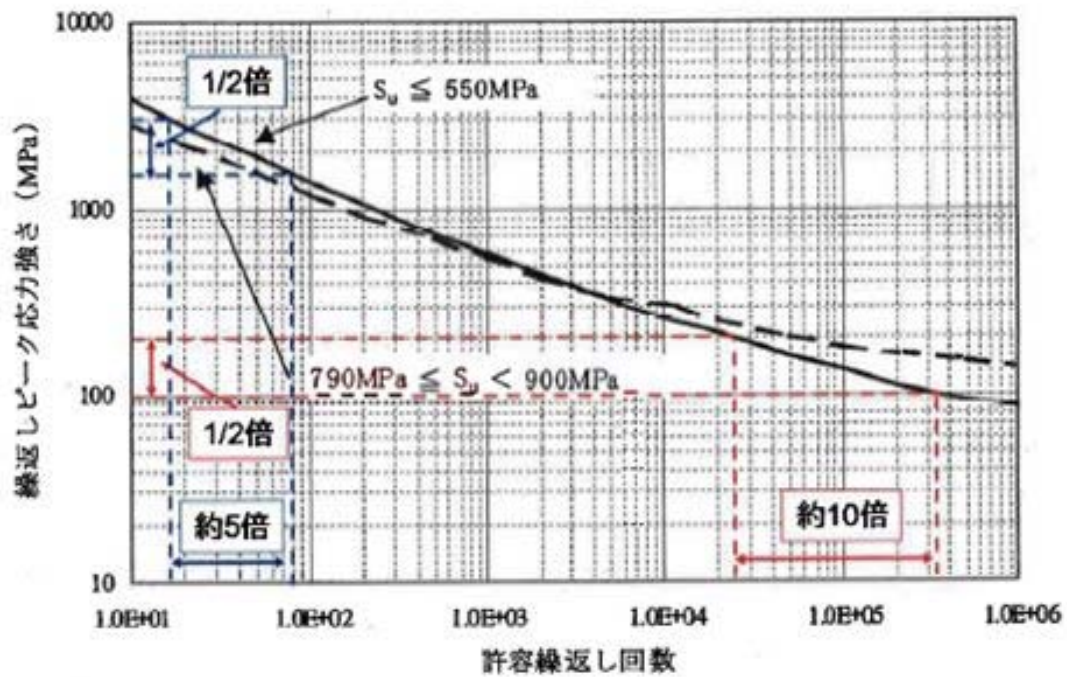


図 3 設計疲労線図（炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼）におけるピーク応力と許容繰返し回数との関係

## 耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について

(目次)

1. はじめに
2. JEAG4601における記載内容
3. 東海第二発電所の等価繰返し回数の設定
4. 一律に設定する地震時等価繰返し回数の設定
5. 繰返し回数設定における保守性
6. 繰返し回数設定における保守性を踏まえた追加検討
7. まとめ

補足 1. ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方

補足 2. 東海第二発電所地震時等価繰返し回数の妥当性確認方法について

補足 3. 個別に設定する等価繰返し回数について

参考 1. 疲労評価の全対象設備

参考 2. 各設備の部位毎のピーク応力 (追而)

参考 3. ピーク応力の算定方法について (追而)

参考 4. 時刻歴応答波形から直接等価繰返し回数を算定した場合との比較検討

参考 5. **地震時等価**繰返し回数算定エビデンス

参考 6. 等価繰返し回数の算定における材料物性のばらつき等の影響検討

参考 7. 多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法について

## 1. はじめに

東海第二発電所の今回工認における耐震評価の疲労評価は、J E A G 4601-1987（以下「J E A G 4601」という。）の記載手順に従い、等価繰返し回数を用いた評価を行っている。疲労評価は、応力振幅と繰返し回数の情報が必要となるため、本来は設備の応力時刻歴が必要となるが、最大応力値のみを用いて保守側に疲労累積係数を評価できるように設定した等価繰返し数を設定することで、評価の簡便化を図っている。東海第二発電所の疲労評価に用いる等価繰返し回数は、設備ごとに個別に設定した値又は一律に設定した値を用いている。

なお、建設時の等価繰返し回数は、O B E 地震 1 回当たりの繰返し回数を 10 回として、プラントライフ中 5 回発生すると仮定し、余裕をみて 6 回起きた場合の 60 回という米国プラント設計の考え方を踏襲し設定している。

## 2. J E A G 4601 における記載内容

J E A G 4601 の疲労評価の手順に関する記載は、以下のとおりである。（J E A G 4601-1987 p574 より）

- ・ 疲れ解析は、1 次 + 2 次 + ピーク圧力より疲れ累積係数を求めて評価するがこの手法には、地震動の等価繰返し回数を用いる方法あるいは機器の時刻歴応答から応力振幅の大きさの頻度分布を直接求める方法がある。
- ・ 地震動の等価繰返し回数を求める場合にはピーク応力法あるいはエネルギー換算法が用いられている
- ・ ここで「疲れ累積係数」とは、各応力サイクルにおける実際の繰返し回数と繰返しピーク応力に対応する許容繰返し回数との比をすべての応力サイクルについて加えたものをいう。

## 3. 東海第二発電所の等価繰返し回数の設定

東海第二発電所の耐震評価における疲労評価は、J E A G 4601 記載の手順のうち、等価繰返し回数を用いた評価を採用している。等価繰返し回数はピーク応力法により、東海第二発電所で一律に設定した値を用いている。この値はピーク応力法により算定した等価繰返し回数を安全側に丸めることによる保守性を有した値としている。なお、一律に設定した等価繰返し回数を用いるのは原子炉建屋内の設備とする。原子炉建屋以外に設置される疲労評価が必要な設備は、設備毎に個別に算出した等価繰返し回数を用いる。

一律に設定した値と、設備毎に個別に算出された値の使い分けフローを図 1 に示す。ここで、フロー中の疲労評価対象設備は、工認計算書対象とする設備・部位のうち、疲労評価を実施するものとしている。

工認計算書で対象とする設備・部位は、東海第二発電所の既工認や大間 1 号機の建設工認を踏まえ、選定しているものであり、耐震設計として評価すべき設備・部位を網羅して設定している（詳細は補足説明資料「耐震評価対象の網羅性、既工認との手法の相違点の整理について」参照）。



また、疲労評価を実施するものとしては、J E A G 4601・補 1984 に基づき疲労評価が必要となる設備・部位であり、具体的には以下が対象となる。

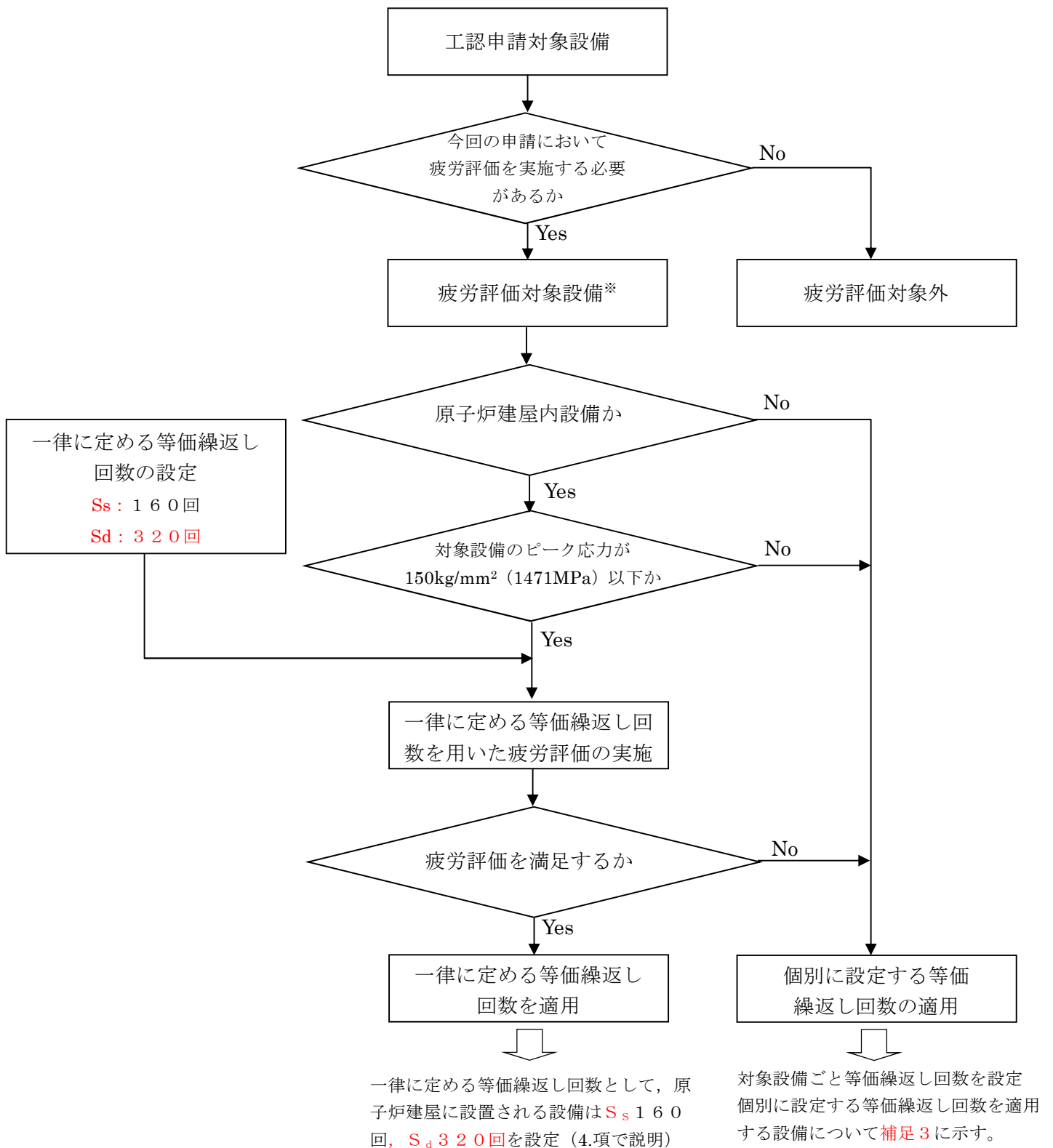
○ 設計基準対象設備

- ・クラス 1 容器，管，ポンプ（J E A G 4601 補 1984 における疲労評価不要の条件（クラス 1 容器については，第 1 種容器の許容応力表の注 5）に従うものを除く。）
- ・クラス 2，3，MC 容器，クラス 2，3 管，クラス 2，その他ポンプ（1 次+2 次応力評価が許容値を満足するものを除く。）

○ 重大事故等対処施設

- ・重大事故等クラス 2 容器，管，ポンプ（設計基準対象設備のクラスに準ずる。）

東海第二発電所の等価繰返し回数の設定が保守的な設定であることを確認する際は，等価繰返し回数設定のパラメータ（ピーク応力，固有周期，対象床面，地震波，減衰定数，設計疲労線図）に加え，ばらつきによる影響（水平 2 方向，時刻歴解析による評価設備，地盤物性の影響）に対しても検討する。



※ 疲労評価対象設備については、参考1参照。このフローによらず個別に設定する等価繰返し回数を適用する場合がある。

図1 適用する等価繰返し回数の使い分け

#### 4. 一律に設定する地震等価繰返し回数の設定について

##### (1) 算定方法

東海第二発電所のピーク応力法による等価繰返し回数算定方法の手順を、J E A G 4601 に記載されたピーク応力法による算定フロー（図 2，以下「フロー」という）との対比で説明する。

このフローには分岐があり，建屋時刻歴応答を直接機器の評価に用いる場合と，建屋応答を床応答曲線として用いる場合が示されている。

左側のフローは，時刻歴応答を用いて設備の応答を求めている場合のフローであり，この場合，等価繰返し回数算出に必要な設備の荷重時刻歴が算出されることから，この時刻歴波形を用いて直接等価繰返し回数を算定するものである。

一方，右側のフローは，床応答曲線を用いて機器の応力を算定している場合のフローであり，改めて機器の固有周期に応じた応答時刻歴を求めているものであり，設備の時刻歴応答解析を改めて行わず，一質点系モデルにより，応答時刻歴を算定する方法が J E A G 4601 に記載されている。

今回の東海第二発電所においては，個別機器ごとの等価繰返し回数設定を合理化するため，主要施設が設置される原子炉建屋及び，原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の大型機器に対して，図 2 に示す右側のフローにより，対象設備一律に適用可能な等価繰返し回数を設定する\*1。

等価繰返し回数の検討は，「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」に記載されており，当該報告書における算定方法と，今回の算定方法の比較を表 1 に示す。なお，設備の繰返し回数を個別に算定する場合においては，個別のピーク応力，固有周期，減衰定数，設置される床面における等価繰返し回数を算定することになり，算定される等価繰返し回数としては，一律に設定した等価繰返し回数の方がより保守的な算定となる。（各パラメータに対する検討は 5. 項参照。）

以下に具体的な手順を示す。①～④の手順はフロー中の番号に対応している。

- \* 1 ただし，一律に設定した等価繰返し回数で許容値を超える（疲労累積係数が 1 を超える）場合及び原子炉建屋以外に設置される設備において，疲労評価が必要になった場合は，個別に等価繰返し回数設定を行う。また，弾性設計用地震動  $S_d$  の疲労評価を，基準地震動  $S_s$  の一律に定める等価繰返し回数での評価で代表させる場合も，弾性設計用地震動  $S_d$  に対して個別に等価繰返し回数の算定を行う。

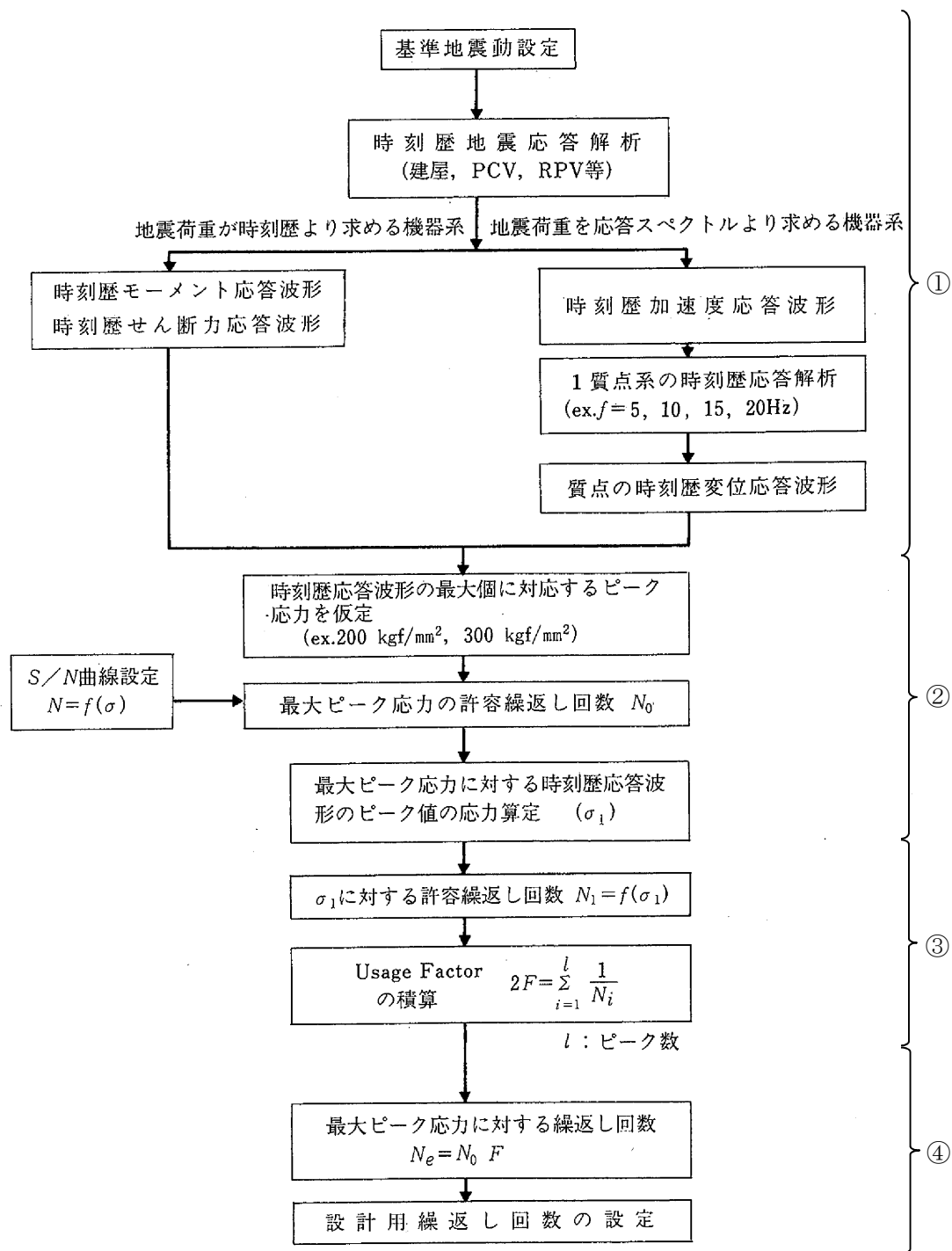


図2 ピーク応力法による算定フロー（J E A G 4601-1987 に追記）

表 1 昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書における算定条件との比較

対象設備	昭和 55 年度 耐震設計の標準化 に関する調査報告書 (標準化報告書)		東海第二発電所 一律に設定する等価繰返し回数の設定	
	【手法 1】	【手法 2】	原子炉格納容器, 原子炉 圧力容器等大型機器	原子炉建屋に設置され た機器・配管系
算出方法 (J E A G のフローの左右どちらか)	原子炉圧力容器スカート 時刻歴解析より算定され る時刻歴モーメントを用 いた算出方法 (J E A G に おける左側のフロー)	【手法 2】 第一種配管 建屋床応答を入力とし た 1 質点系モデルによ る応答時刻歴を用いた 算出方法 (J E A G に おける右側のフロー)	標準化報告書【手法 2】 と同じ (J E A G に おける右側のフロー)	同左
回数算出に用いる応 答時刻歴波	時刻歴モーメント波形	変位応答時刻歴波	標準化報告書【手法 2】 と同じ	同左
対象建屋・床	時刻歴最大値 (設備の最大 ピーク応力)	代表設備の最大ピーク 応力を安全側に設定し た 300kg/mm <sup>2</sup>	150kg/mm <sup>2</sup> (147MPa) 「昭和 55 年度 耐震設 計の標準化に関する調 査報告書」の検討にて十 分とされている値*	同左
固有周期	代表設備の設置床面	同左	標準化報告書【手法 1】 及び【手法 2】と同じ	全ての床面
減衰定数	時刻歴解析結果より直接 算定	設備の固有周期でな く, 全固有周期	標準化報告書【手法 2】 と同じ	同左
設計用疲労線図	報告書に言及なし	同左	1.0%, 0.5%	同左
地盤条件	代表設備材料の線図を使 用	同左	標準化報告書【手法 1】 及び【手法 2】と同じ	同左
	V <sub>s</sub> = 500, 1000, 1500m/s	V <sub>s</sub> = 1500m/s	V <sub>s</sub> = 700m/s	同左

\* : 設備のピーク応力が 150 kg/mm<sup>2</sup> (147MPa) を超える場合は個別に評価を行う。

### ① 全設備の固有周期に対する応答加速度時刻歴波形の算定

ピーク応力法による等価繰返し回数を求めるためには、設備の応力時刻歴波が必要となる。図2のフローでは地震荷重を時刻歴より求める場合（左側のフロー）は時刻歴モードメント応答波形又は時刻歴せん断力波形、応答スペクトルより求める場合（右側のフロー）は時刻歴変位応答波形を用いることとなっているが、今回の算定では、右側のフローとして時刻歴変位応答波の波形を用いることとしている。

建屋地震応答解析又は建屋-機器連成解析（フローでは「時刻歴地震応答解析」と記載）の結果から算出される変位加速度応答波を用いて、振動数  $f$  の1質点系に入力した場合の時刻歴変位応答波形を求める。この時刻歴波形は、固有振動数全てに対して算出する。

### ② 時刻歴ピーク応力値の設定

設備に発生するピーク応力の最大値を①で求めた時刻歴波形の最大値とすることで、応力の時刻歴波を作成する。なお、フローの「時刻歴応答波形の最大値に対応するピーク応力を仮定」とは、この設備に発生するピーク応力の最大値を①で求めた時刻歴波形の最大値とすることに対応している。なおピーク応力は、当該床面・固有周期に対応する設備のピーク応力ではなく、対象設備全てのピーク応力最大値を、時刻歴波の最大値と仮定しており、また、多質点系モデルの場合、ピーク応力は各モードの重ね合わせの結果として算定されるものであり、必ずしも波形の最大値がピーク応力の最大値になるとは限らないが、多質点系モデルの場合においても、最大値がピーク応力であると仮定していることを指している。

ここで、東海第二発電所における地震時等価繰返し回数の設定に用いるピーク応力は、 $150 \text{ kg/mm}^2$  ( $1471 \text{ MPa}$ ) を用いている。設備のピーク応力が  $150 \text{ kg/mm}^2$  ( $1471 \text{ MPa}$ ) を超える場合は個別に評価を行う。

### ③ 各ピーク点の応力に対する許容繰返し回数 ( $N_i$ ) を設計疲労線図より求め、疲れ累積係数 UF (Usage Factor) を求める。

図3に示す設計疲労線図を用い、応力時刻歴波に対して各時刻歴振振に対する許容繰返し回数を算定する。

各応力時刻歴波の振幅に対する許容繰返し回数と、ピークのサイクル数から、UFを算定する。(図4参照)

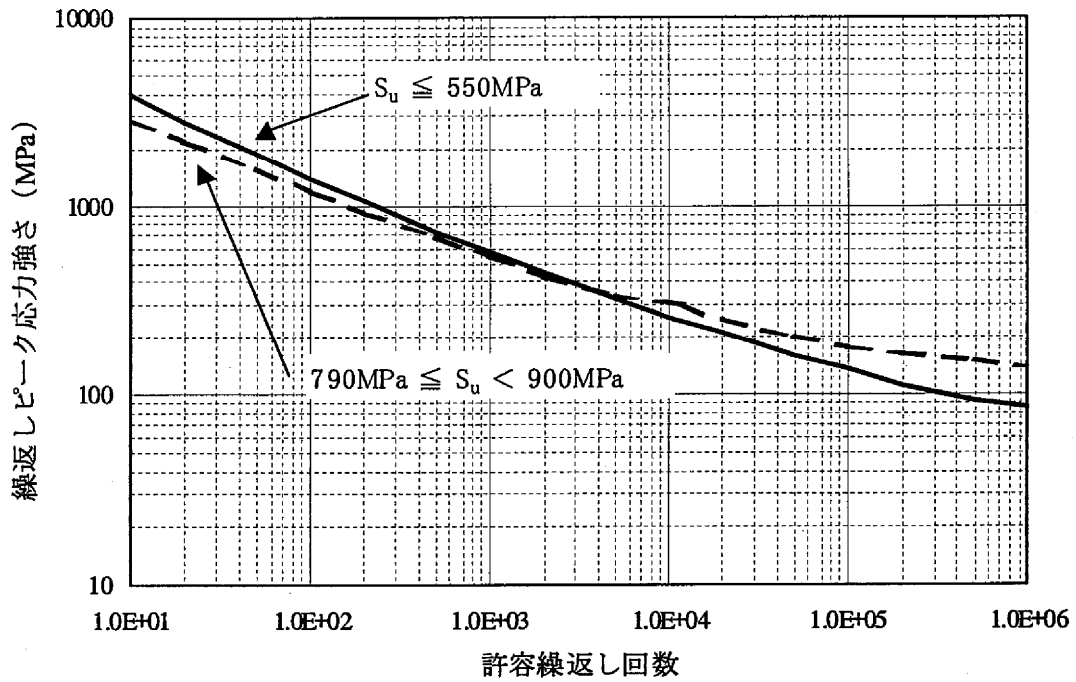


図3 炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の設計疲労線図

(J S M E 設計・建設規格より抜粋)

$$\text{地震 UF} = \frac{n_{\max}}{N_{\max}} + \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2}$$

ここで、 $n_i$  : 各ピークのサイクル数

$N_i$  : 各ピークに対する許容繰返し回数

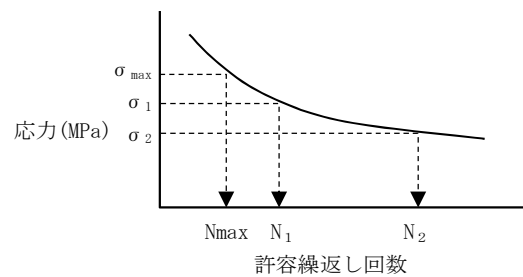


図4 UF 算定方法

- ④ UF と、最大ピーク応力に対する許容繰返し回数  $N_0$  の積をとることにより最大ピーク応力に対する等価繰返し回数  $N_e$  を求める。

③で算定した UF と、②より求められる最大ピーク応力に対する許容繰返し回数  $N_0$  から、下式により、等価繰返し回数  $N_e$  を求める。

$$N_e = UF \times N_0$$

## (2) 算定結果

(1) に基づき等価繰返し回数を算定した結果を示す。

### a. 原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の大型機器

原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の大型機器の各質点の水平（NS，EW）及び鉛直（UD）方向の加速度時刻歴より求めた 1 質点系の変位応答に対する等価繰返し回数を表 4 に示す。一律に定める等価繰返し回数については，表 4 の数値を保守的に丸めた 160 回を設定する。

### b. 原子炉建屋に設置された機器・配管系

原子炉建屋の各質点の水平（NS，EW）及び鉛直（UD）方向の加速度時刻歴より求めた 1 質点系の変位応答に対する等価繰返し回数を表 5 に示す。一律に定める等価繰返し回数については，表 5 の数値を保守的に丸めた 160 回を設定する。

ここで，多方向入力 of 等価繰返し回数の算定方法として，各方向の最大値，SRSS，代数和等の等価繰返し回数を組み合わせる方法が考えられる。これらの中で SRSS や代数和は過度に保守的な評価となるため（参考 7 参照），各方向の最大値を保守的に丸めた回数を等価繰返し回数とした。






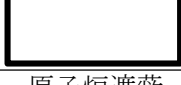
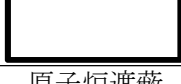




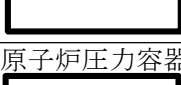




表 4(1) 原子炉格納容器, 原子炉圧力容器等の等価繰返し回数の算定結果

	減衰定数	Ss-D1			Ss-11			Ss-12			Ss-13		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
原子炉格納容器 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉遮蔽 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉遮蔽 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉本体の基礎 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉本体の基礎 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 □	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 □	h=0.5%												
	h=1.0%												

注) 質点No. は水平方向のモデル (図5参照) の番号を示す。

表 4 (2) 原子炉格納容器, 原子炉圧力容器等の等価繰返し回数の算定結果

	減衰定数	Ss-14			Ss-21			Ss-22			Ss-31		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
原子炉格納容器 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉遮蔽 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉遮蔽 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉本体の基礎 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉本体の基礎 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 	h=0.5%												
	h=1.0%												

注) 質点No. は水平方向のモデル (図5参照) の番号を示す。



図5 原子炉格納容器, 原子炉圧力容器等の等価繰返し回数の算定位置(水平方向)

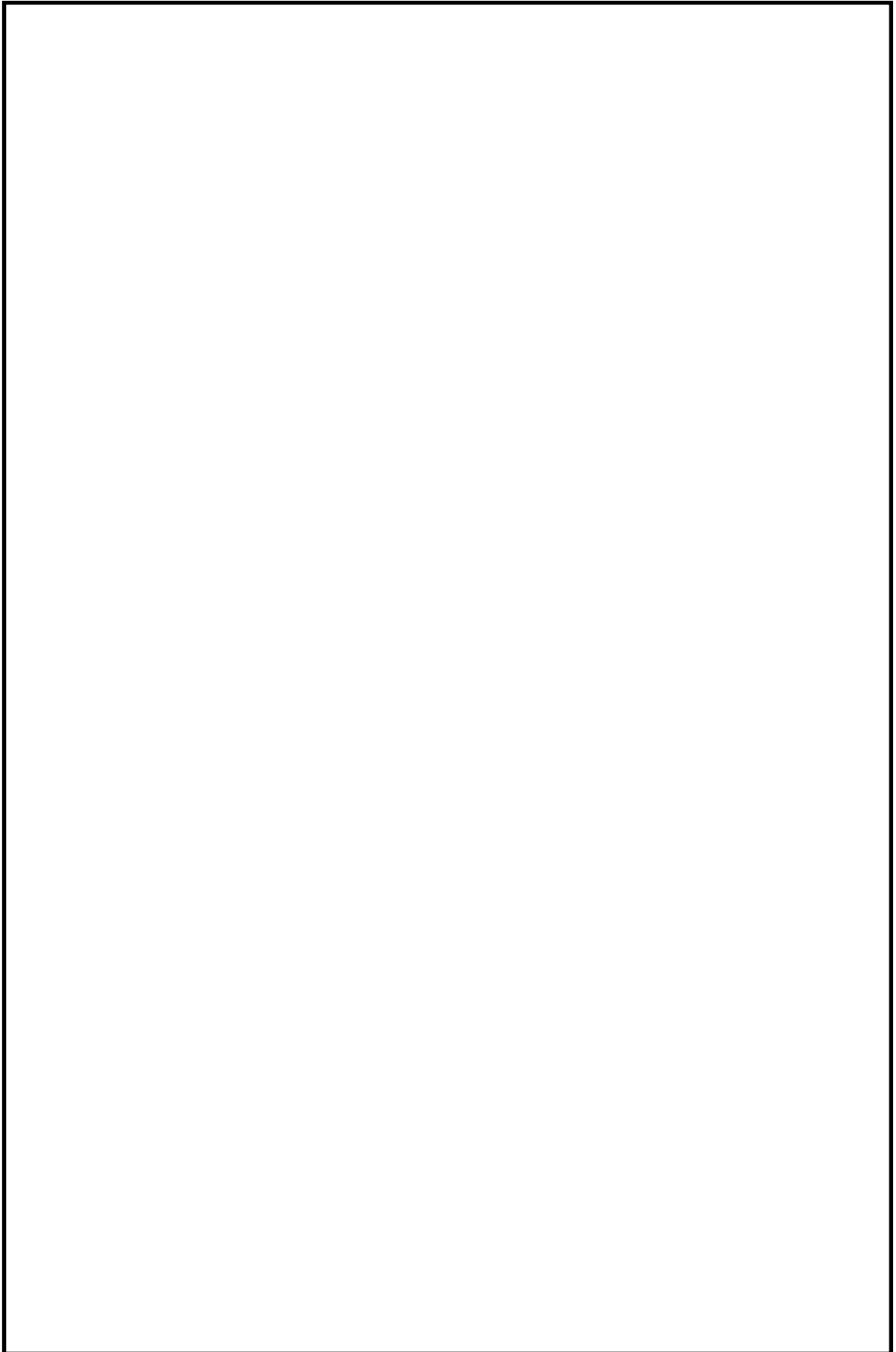


図6 原子炉格納容器, 原子炉圧力容器等の等価繰返し回数の算定位置 (鉛直方向)

表 5(1) 原子炉建屋の等価繰返し回数の算定結果

	減衰定数	Ss-D1			Ss-11			Ss-12			Ss-13		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
原子炉建屋 EL. 46.500 m 質点 No. 3	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 38.800 m 質点 No. 4	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 34.700 m 質点 No. 5	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 29.000 m 質点 No. 6	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 20.300 m 質点 No. 7	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 14.000 m 質点 No. 8	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 8.200 m 質点 No. 9	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 2.000 m 質点 No. 10	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. -4.000 m 質点 No. 11	h=0.5%												
	h=1.0%												

表 5(2) 原子炉建屋の等価繰返し回数の算定結果

	減衰定数	Ss-14			Ss-21			Ss-22			Ss-31		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
原子炉建屋 EL. 46.500 m 質点 No. 3	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 38.800 m 質点 No. 4	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 34.700 m 質点 No. 5	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 29.000 m 質点 No. 6	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 20.300 m 質点 No. 7	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 14.000 m 質点 No. 8	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 8.200 m 質点 No. 9	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. 2.000 m 質点 No. 10	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL. -4.000 m 質点 No. 11	h=0.5%												
	h=1.0%												

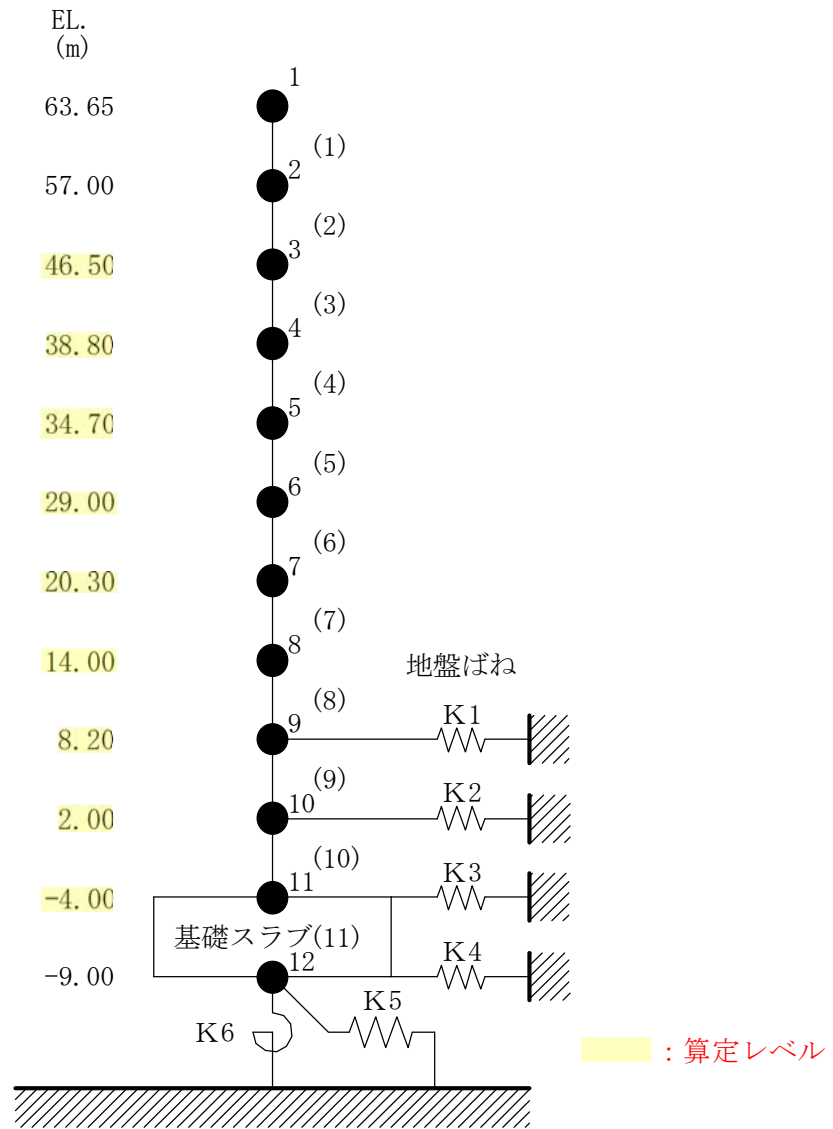


図7 原子炉建屋の等価繰返し回数の算定位置（水平方向）

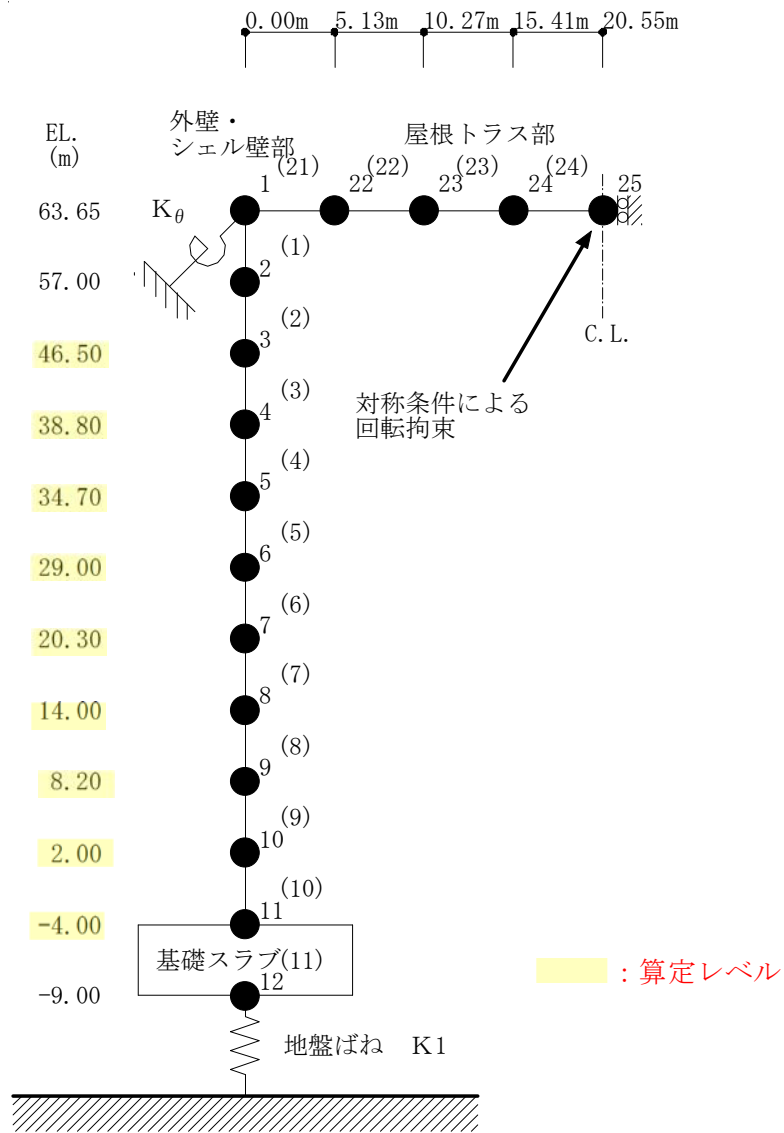


図8 原子炉建屋の等価繰返し回数の算定位置（鉛直方向）



## 5. 繰返し回数設定における保守性

等価繰返し回数の設定におけるパラメータとしては、以下の 6 種類がある。ここでは、それぞれのパラメータに対する包絡性を検討し、設定する等価繰返し回数が保守的な回数であることを確認する。

- ①ピーク応力
- ②固有周期
- ③対象床面
- ④地震波
- ⑤減衰定数
- ⑥設計疲労線図

### ① ピーク応力

同じ波形で応力値の大きな波と小さな波があった場合、ピーク応力法で等価繰返し回数を算出すると、応力値の大きな波の方が回数を大きく算出することになる。

東海第二発電所における地震時等価繰返し回数の設定に用いるピーク応力は、 $150 \text{ kg/mm}^2$  ( $1471\text{MPa}$ ) を用いる。当設定は、「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」での検討にて、当値まで考慮すれば十分とされた値\*1である。なお、設備のピーク応力が  $150 \text{ kg/mm}^2$  ( $1471\text{MPa}$ ) を超える場合は個別に評価を行う。

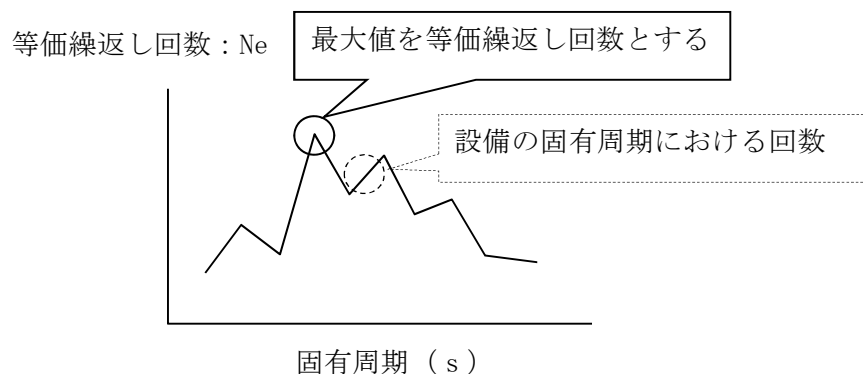
\* 1 「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」での整理。

現在用いられている材料において RPV 本体材料である SQV 2 A 及び SFV V 3 の一次+二次応力に対する許容値が最も高く、その値は  $3S_m = 56.4 \text{ kg/mm}^2$  となる。

応力係数の極大値 5 とすれば、ピーク応力の値としては片振幅に対して、 $56.4 \times 5 \div 2 = 141 \text{ kg/mm}^2$  となることから、最大ピーク応力としては、 $150 \text{ kg/mm}^2$  まで考えれば十分としている。

### ② 固有周期

今回の  $S_s$  の等価繰返し回数の設定においては、設備の固有周期の有無に係わらず全周期帯での最大の等価繰返し回数としている。実際の設備としては、特定の固有周期を有していることから、当該建屋（又は質点）の等価繰返し回数は、確実にそれ以下の回数となり、保守側の算出となっている。



### ③ 代表床面（質点）における等価繰返し回数の設定

原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の大型機器については，「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」と同様に代表質点にて等価繰返し回数を設定しており，代表質点は，クラス 1 の機器・配管系の設置位置を選定している。また，(2) 項の表 5 で示した等価繰返し回数は，原子炉建屋に設置された機器・配管系は全ての床面の回数を算定した上で，最大の回数を記載しており，設備の等価繰返し回数は，確実にそれ以下の回数となり保守側の算出となっている。

### ④ 地震波

東海第二発電所における地震波としては， $S_s - D, 11, 12, 13, 14, 21, 22, 31$ がある。今回の等価繰返し回数の設定においては，全ての $S_s$ を用いており，設備の等価繰返し回数は，確実にそれ以下の回数となり保守側の算出となっている。

また， $S_d$  1 回分における等価繰返し回数は， $S_s$ と同じ回数を用いている。 $S_d$  1 回分の等価繰返し回数を $S_s$ の等価繰返し回数と同じ回数とすることが保守的な設定であることは，「東海第二発電所 工事計画に係る補足説明資料 耐震性に関する説明書のうち補足-340-2【耐震評価対象の網羅性，既工認との手法の相違点の整理について】」1.1.2(2)にて示している。

### ⑤ 減衰定数

一律に設定する等価繰返し回数の算定においては，減衰定数は 0.5%及び 1.0%を用いている。表 4 及び表 5 に示すとおり減衰定数が小さいほど，等価繰返し回数が多く算定される傾向にあり，機器・配管系に適用される最小の減衰定数は，0.5%であることから，設備の等価繰返し回数は，確実にそれ以下の回数となり保守側の算出となっている。

### ⑥ 設計疲労線図

疲労評価に用いている設計用疲労線図としては，JSME に記載されている「オーステナ

イト系ステンレス鋼および高ニッケル合金」と「炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼」の 2 種類が該当する。

一律に設定する等価繰返し回数の算定は，設計疲労線図は代表設備の設計疲労線図（炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼）を用いる。「炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼」の設計用疲労線図を用いるほうが，同じピーク応力とした場合に「オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金」よりも許容繰返し回数が小さくなり，地震繰返し回数が多く算定されるため，設備の等価繰返し回数は，確実にそれ以下の回数となり保守側の算出となっている。

#### 6. 繰返し回数設定における保守性を踏まえた追加検討

##### a. 6つのパラメータによる繰返し回数への影響

5. 項では，6つのパラメータに対して検討を行った。その結果，一律に設定する等価繰返し回数は最も厳しい条件を仮定した回数，また「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」で検討された手法を用いており，繰返し回数の設定としては保守性を有している。

##### b. 6つのパラメータ以外による繰返し回数への影響

a. 項では，6つのパラメータに対する検討を行ったが，6つのパラメータ以外に等価繰返し回数に影響する要因としては，以下の項目が挙げられる。一律に設定した等価繰返し回数は，保守性は有しており，その設定に問題はないと考えるが，以下の要因に対しても，問題がないことを確認する。

(a) 時刻歴解析を用いている設備（J E A G 4601-1987 (P. 576) の左側のフローについても，1 質点系の応答波形を用いて回数を設定（J E A G 4601-1987 (P. 576) の右側のフロー）していること

(b) 水平 2 方向による影響

(c) 材料物性の影響

##### (a) 時刻歴解析を用いている設備への影響

時刻歴解析を行う設備は，J E A G 4601 の左側のフローを用いることとされているが，今回の等価繰返し回数の算定においては J E A G 4601 の右側のフローを用いている。時刻歴解析を用いている設備に対して，その時刻歴応答荷重（J E A G の左側のフロー）を用いて等価繰返し回数を算定した結果と，1 質点系の応答波形（J E A G の右側のフロー）を用いて算出した結果の比較を参考 4 に示す。

設備の時刻歴応答荷重より直接算定した回数は，160 回より十分小さく，一律に設定した等価繰返し回数の設定に問題ないことを確認した。

##### (b) 水平 2 方向による影響（追而）

##### (c) 材料物性の影響

原子炉建屋における建屋剛性及び地盤物性のばらつきを考慮した場合の等価繰返し回数を算定した結果を参考6に示す。材料物性のばらつき等を考慮した場合でも、等価繰返し回数の算定結果への影響は軽微であり、一律に設定した繰返し回数の160回以下であることを確認した。

## 7. まとめ

東海第二発電所における等価繰返し回数は一律に設定した値を用いており、J E A G 4601に基づき妥当な設定であり、保守的な設定となっていることを確認した。

なお、一律に設定した等価繰返し回数については、等価繰返し回数算定に影響する6つのパラメータ（ピーク応力、固有周期、対象床面、地震波、減衰定数、設計疲労線図）を踏まえても、パラメータ全体として保守的であること、また、それ以外の要因（時刻歴波形を用いた場合の影響、水平2方向の影響及び地盤物性の影響）に対しても検討を行い、保守的な設定となっていることを確認した。

以上より、今回の東海第二発電所における一律に設定した保守的な値はJ E A G 4601に基づき妥当な設定となっている。

## 東海第二発電所 地震等価繰返し回数の妥当性確認方法について

## 1. 東海第二発電所における地震等価繰返し回数妥当性確認の方針

今回の東海第二発電所の等価繰返し回数の妥当性確認においては、JEAG4601 に記載されているエネルギー換算法、ピーク応力法の2つの手法のうち、ピーク応力法を用いている。また、JEAG4601 には特に要求が無いが、自主的な配慮として Sd 2 回分を考慮しても、一律に設定した等価繰返し回数（原子炉格納容器、原子炉压力容器等の大型機器及び原子炉建屋に設置された機器・配管系：Ss 160 回、Sd 320 回）を超えることがないことを確認している。以下ではその考え方について説明する。

## (1) 東海第二発電所における地震等価繰返し回数の算定方針

東海第二発電所の建設時の等価繰返し回数は、OBE地震1回当たりの繰返し回数を10回として、プラントライフ中5回発生すると仮定し、余裕をみて6回起きた場合の60回という米国プラント設計の考え方を踏襲し設定している。

今回工認においては地震等価繰返し回数を算定する手法としては、JEAG4601 に基づくこととする。JEAG4601 ではエネルギー換算法及びピーク応力法による繰返し回数の説明があるが、エネルギー換算法は、機器系の固有振動に対する応力の全体応力に対する寄与が小さくなる剛な領域では、過大に安全側の評価となっているため\*、ピーク応力法を用いる。

\*：昭和55年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書

## (2) 東海第二発電所の今回工認における地震等価繰返し回数

東海第二発電所の今回工認においては、Ss地震よりSd地震の方が発生頻度が多いことを踏まえ、設計上の配慮として、Ss地震については1回分、また、Sd地震については2回分を考慮することとし、地震等価繰返し回数を算定する手法としては、ピーク応力法を用いている。

なお、上記の算定方法は、新規制基準対応工認における先行プラント（大飯3・4号機等）と同じ方法である。

## 個別に設定する等価繰返し回数について

## 1. 適用

本資料は東海第二発電所における、耐震計算書の疲労評価で一律に定める等価繰返し回数を適用せず、個別に設定する等価繰返し回数を適用する設備における、等価繰返し回数の算定方法を定めたものである。

## 2. 対象設備

疲労評価が必要となる設備の内、一律に定める等価繰返し回数を適用しない以下の設備に対して、個別に設定する等価繰返し回数を算定する。

- ① 原子炉建屋以外に設置される設備
- ② 発生するピーク応力が  $150\text{kg/mm}^2$  ( $1471\text{MPa}$ ) を超える設備
- ③ 一律に定める等価繰返し回数を用いた疲労評価が満足しない設備
- ④ 一律に定める等価繰返し回数を用いた疲労評価を実施しない設備 (\* 1)

\* 1 :  $S_d$  に対する疲労評価を  $S_s$  の疲労評価で代表させるために、 $S_d$  の等価繰返し回数を  $S_s$  の等価繰返し回数 (160回) 以下とするよう、 $S_d$  の等価繰返し回数を個別に算定する。

## 3. 個別に設定する等価繰返し回数算定方針

## 3. 1 前項①~③の等価繰返し回数算定方針

個別に設定する等価繰返し回数の算定方針について、表 1 に示す。

## 3. 2 ④の等価繰返し回数算定方針

$S_d$  の等価繰返し回数を求める際は、図 1 のフローに従い算定する。 $S_d$  8波 /  $S_s$  8波の応答比の算出方法は 3. 3 項に示す。

表 1 昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書、一律に定める等価繰返し回数と個別に設定する等価繰返し回数での算定条件比較

(朱記部が一律に設定する等価繰返し回数との相違点)

対象設備		昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書 (標準化報告書)		東海第二発電所 一律に定める等価繰返し回数の設定		東海第二発電所 個別に設定する等価繰返し回数の算定方法	
		【手法 1】 原子炉圧力容器 スカート	【手法 2】 第一種配管	原子炉格納容器, 原子炉圧力容器等 大型機器	原子炉建屋に 設置された 機器・配管系	原子炉格納容器, 原子炉圧力容器等大型機器	原子炉建屋に設置された 機器・配管系
算出方法 (J E A G のフ ローの左右どち らか)	時刻歴解析より算定 される時刻歴モーメ ントを用いた算出方 法 (J E A G に おける左 側のフロー)	建屋床応答を入力と した 1 質点系モデル による応答時刻歴を 用いた算出方法 (J E A G に おける右 側のフロー)	標準化報告書【手法 2】と同じ (J E A G における右 側のフロー)	標準化報告書【手法 2】 と同じ (J E A G に おける左 側のフロー)	標準化報告書【手法 2】 と同じ (J E A G に おける右 側のフロー)	標準化報告書【手法 2】 と同じ (J E A G に おける右 側のフロー)	標準化報告書【手法 2】 と同じ (J E A G に おける右 側のフロー)
回数 算出に 用いる 応答 時刻 歴波	時刻歴モーメント波 形	変位応答時刻歴波	標準化報告書【手法 2】と同じ	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・時刻歴せん断力波形、 ・時刻歴モーメント波形 ・時刻歴軸力波形	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波
対象建屋・床	5 種類のピーク応力 (最大 300kg/mm <sup>2</sup> )	代表設備の最大ピー ク応力を安全側に設 定した 300kg/mm <sup>2</sup>	標準化報告書【手法 1】及び【手法 2】と 同じ	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波	標準化報告書【手法 1】 と同じ。以下を用いる。 ・時刻歴せん断力波形、 ・時刻歴モーメント波形 ・時刻歴軸力波形	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波
固有周期	時刻歴解析結果より 直接算定	設備の固有周期でな く、全固有周期	標準化報告書【手法 2】と同じ	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波	標準化報告書【手法 1】 と同じ。以下を用いる。 ・時刻歴せん断力波形、 ・時刻歴モーメント波形 ・時刻歴軸力波形	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波
減衰定数	報告書に言及なし	同左	1.0%, 0.5%	標準化報告書【手法 2】と同じ	標準化報告書【手法 1】 と同じ。以下を用いる。 ・時刻歴せん断力波形、 ・時刻歴モーメント波形 ・時刻歴軸力波形	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波	標準化報告書【手法 2】 と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波
設計用疲労線図	代表設備材料の線図 を使用	同左	標準化報告書【手法 1】及び【手法 2】と 同じ	標準化報告書【手法 1】 及び【手法 2】と同じ <sup>(注 2)</sup>	標準化報告書【手法 1】 及び【手法 2】と同じ <sup>(注 2)</sup>	標準化報告書【手法 1】 及び【手法 2】と同じ <sup>(注 2)</sup>	標準化報告書【手法 2】 及び【手法 2】と同じ <sup>(注 2)</sup>
地盤条件	V <sub>s</sub> = 500, 1000, 1500m/s	V <sub>s</sub> = 1500m/s	V <sub>s</sub> = 700m/s	V <sub>s</sub> = 700m/s	V <sub>s</sub> = 700m/s	V <sub>s</sub> = 700m/s	V <sub>s</sub> = 700m/s

注 1 : S<sub>s</sub> に対してピーク応力を 150kg/mm<sup>2</sup> (1471MPa) と設定する。S<sub>a</sub> のピーク応力は図 1 に基づき設定する。

設備のピーク応力が解析条件として設定したピーク応力値を超える場合は設備のピーク応力にて評価を行う。

注 2 : 等価繰返し回数低減のため、必要に応じて個別に設定する設備の使用材料の設計用疲労線図を用いる。

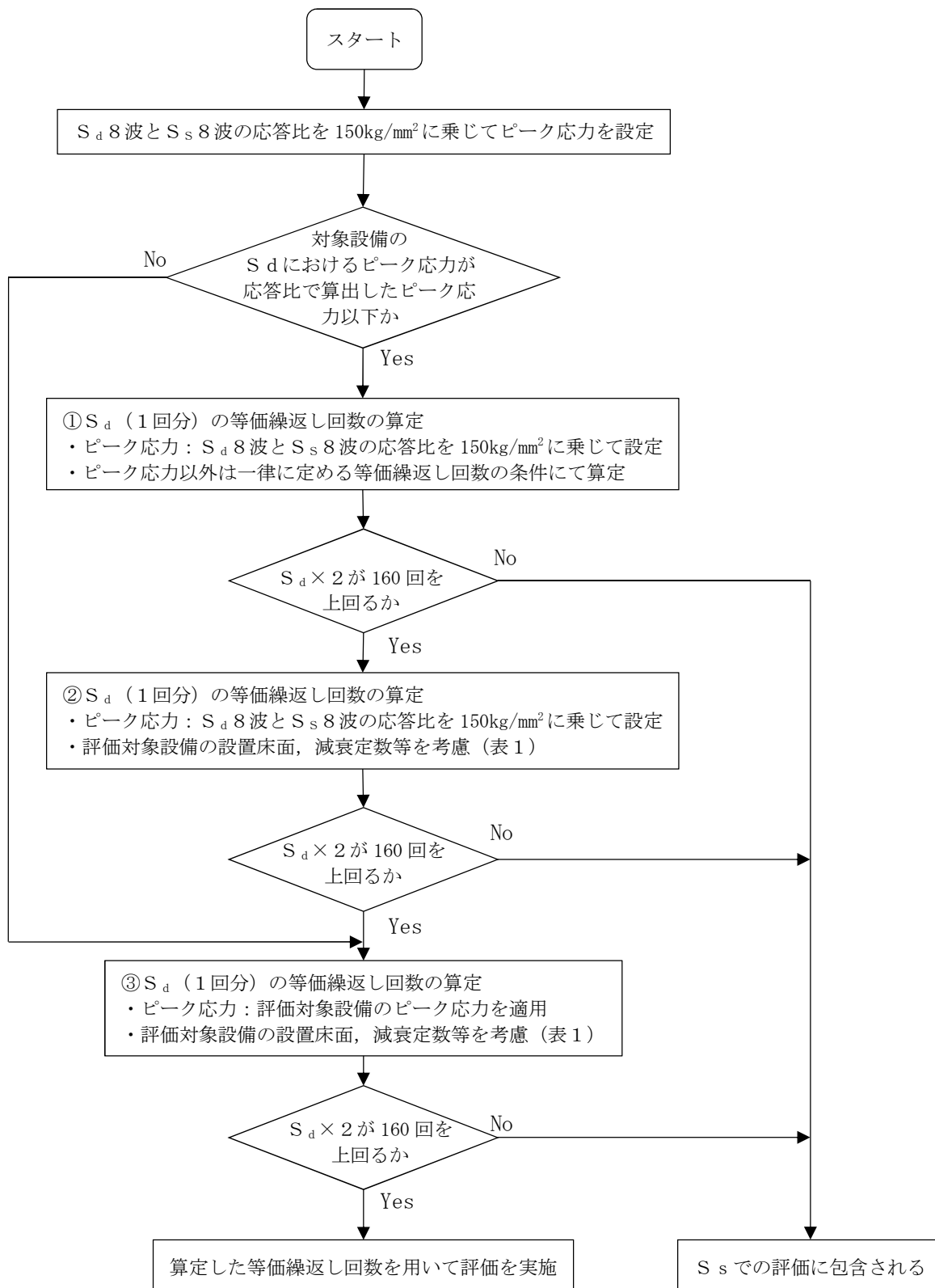


図1 S<sub>d</sub>の等価繰返し回数算定手順



### 3. 3 S<sub>s</sub> 8波 / S<sub>d</sub> 8波の応答比の算出方法

S<sub>s</sub>での一律に定める等価繰返し回数の算定に適用しているピーク応力は150kg/mm<sup>2</sup>(1471MPa)を適用している。S<sub>d</sub>でのピーク応力はS<sub>s</sub>とS<sub>d</sub>の応答比で発生すると仮定し、150kg/mm<sup>2</sup>(1471MPa)に応答比を乗じることにより求める。

【手順1】各標高でのS<sub>s</sub> 8波とS<sub>d</sub> 8波の応答比を算定し、最大値を求める。

標高	各波の応答比 (S <sub>d</sub> の波形の最大値 / S <sub>s</sub> の波形の最大値)			応答比最大値
	S <sub>d</sub> -D1 / S <sub>s</sub> -D1	…	S <sub>d</sub> -31 / S <sub>s</sub> -31	
A	CH <sub>S<sub>d</sub>-D1A</sub> / CH <sub>S<sub>s</sub>-D1A</sub>	…	CH <sub>S<sub>d</sub>-31A</sub> / CH <sub>S<sub>s</sub>-31A</sub>	R <sub>A</sub>
B	CH <sub>S<sub>d</sub>-D1B</sub> / CH <sub>S<sub>s</sub>-D1B</sub>	…	CH <sub>S<sub>d</sub>-31B</sub> / CH <sub>S<sub>s</sub>-31B</sub>	R <sub>B</sub>
C	CH <sub>S<sub>d</sub>-D1C</sub> / CH <sub>S<sub>s</sub>-D1C</sub>	…	CH <sub>S<sub>d</sub>-31C</sub> / CH <sub>S<sub>s</sub>-31C</sub>	R <sub>C</sub>
D	CH <sub>S<sub>d</sub>-D1D</sub> / CH <sub>S<sub>s</sub>-D1D</sub>	…	CH <sub>S<sub>d</sub>-31D</sub> / CH <sub>S<sub>s</sub>-31D</sub>	R <sub>D</sub>
E	CH <sub>S<sub>d</sub>-D1E</sub> / CH <sub>S<sub>s</sub>-D1E</sub>	…	CH <sub>S<sub>d</sub>-31E</sub> / CH <sub>S<sub>s</sub>-31E</sub>	R <sub>E</sub>

【手順2】各標高の応答比最大値からS<sub>d</sub>のピーク応力を設定する。

$$\text{標高Aに設置される設備のS}_d\text{のピーク応力} = \frac{150\text{kg/mm}^2(1471\text{MPa})}{\text{S}_s\text{のピーク応力}} \times \frac{R_A}{\text{応答比最大値}}$$

#### 4. 個別に定める等価繰返し回数算定結果

3項の方針に基づき算定した等価繰返し回数を保守的に丸めて設定した等価繰返し回数（以下「評価用等価繰返し回数」という。）を以下に示す。なお、表4-4～表4-24の質点番号は添付8図5，図6に対応する。

##### 4. 1 発生するピーク応力が $150\text{kg}/\text{mm}^2$ ( $1471\text{MPa}$ ) を超える設備（暫定値）

該当する設備は上部シアラグと格納容器との接合部があり，ピーク応力は  $1918\text{MPa}$  となっている。

算定した等価繰返し回数と，その値を保守的に丸めて設定した設備の等価繰返し回数（評価用等価繰返し回数）を表4-1に示す。

表4-1 発生するピーク応力が  $150\text{kg}/\text{mm}^2$  ( $1471\text{MPa}$ ) を超える設備の等価繰返し回数

設備	評価	考慮する耐震条件	算定結果	算定した等価繰返し回数	評価用等価繰返し回数	備考
上部シアラグと格納容器との接合部	S <sub>s</sub>	震度荷重	表4-4		40	当該部に発生する応力の内，ばね反力による応力が支配的であるため，ばね反力の時刻歴波にて算定し，等価繰返し回数を設定。

##### 4. 2 一律に定める等価繰返し回数を用いた疲労評価が満足しない設備

該当する設備は，主蒸気系配管，原子炉冷却材浄化系配管がある。そのため，算定した等価繰返し回数と，その値を保守的に丸めて設定した設備の等価繰返し回数（評価用等価繰返し回数）を表4-2に示す。

表4-2 一律に定める等価繰返し回数を用いた疲労評価が満足しない設備の等価繰返し回数

設備	評価	考慮する耐震条件	算定結果	算定した等価繰返し回数	評価用等価繰返し回数	備考
主蒸気系配管	S <sub>s</sub>	FRS	表4-5		110	—
原子炉冷却材浄化系配管	S <sub>s</sub>	FRS	表4-5		110	—

##### 4. 3 一律に定める等価繰返し回数を用いた疲労評価を実施しない設備

該当する設備は，S<sub>d</sub>で疲労評価が必要な設備である。そのため，算定した等価繰返し回数と，その値を保守的に丸めて設定した設備の等価繰返し回数（評価用等価繰返し回数）を表4-3に示す。

表 4-3 一律に定める等価繰返し回数を用いた疲労評価を実施しない設備の等価繰返し回数

設備	評価	考慮する耐震条件	算定結果	算定した等価繰返し回数*	評価用等価繰返し回数	備考	
原子炉圧力容器胴板	S <sub>d</sub>	震度荷重	表 4-6		160	図 1 の②で算定	
原子炉圧力容器下部鏡板	S <sub>d</sub>	震度荷重					
原子炉圧力容器スカート	S <sub>d</sub>	震度荷重					
制御棒駆動機構ハウジング貫通部	S <sub>d</sub>	震度荷重	表 4-7		160	図 1 の②で算定	
再循環水出口ノズル (N1)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS)	表 4-8		160	図 1 の②で算定	
再循環水入口ノズル (N2)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS, 震度)	表 4-9		160	図 1 の②で算定	
主蒸気ノズル (N3)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS)	表 4-10		160	図 1 の②で算定	
給水ノズル (N4)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS, 震度)	表 4-11		160	図 1 の②で算定	
炉心スプレインノズル (N5)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS, 震度)	追而		追而	追而	—
上鏡スプレインノズル (N6)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS)	表 4-13			160	図 1 の②で算定
ベントノズル (N7)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS)	表 4-14	160		図 1 の②で算定	
ジェットポンプ計測管貫通部ノズル (N8)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS)	表 4-15	160		図 1 の②で算定	
差圧検出・ほう酸水注入管ノズル (N10)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS, 震度)	追而	追而	追而	—	
計装ノズル (N11)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS)	追而	追而	追而	—	
計装ノズル (N16)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS)	追而	追而	追而	—	
計装ノズル (N12)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS)	追而	追而	追而	—	
ドレンノズル (N15)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS)	表 4-20		160	図 1 の②で算定	
低圧注水ノズル (N17)	S <sub>d</sub>	配管反力 (FRS, 震度)	追而	追而	追而	—	
上部シアラグ及びスタビライザ	S <sub>d</sub>	荷重震度	追而	追而	追而	—	
原子炉格納容器機器搬入用ハッチ	S <sub>d</sub>	FRS 震度荷重	追而	追而	追而	—	
制御棒駆動機構	S <sub>d</sub>	震度荷重	表 4-24		160	図 1 の②で算定	

\* : ( ) 内は算定した S<sub>d</sub> 1 回分の回数。



表 4-6 (2) 胴板 (S<sub>d</sub>), 下部鏡板 (S<sub>d</sub>), 原子炉压力容器スカート (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (せん断力)

質点番号	等価繰返し回数(せん断力)												最大回数 (8波包絡)
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>												
	Sd-D1		Sd-11		Sd-12		Sd-13		Sd-14		Sd-21		
NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW

表 4-6 (3) 胴板 (S<sub>d</sub>), 下部鏡板 (S<sub>d</sub>), 原子炉压力容器スカート (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (モーメント)

質点番号	等価繰返し回数(モーメント)												最大回数 (Sd8波包絡)
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>												
	Sd-D1		Sd-11		Sd-12		Sd-13		Sd-14		Sd-21		
NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW

表 4-6 (4) 胴板 (S<sub>d</sub>), 下部鏡板 (S<sub>d</sub>), 原子炉压力容器スカート (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (軸力)

質点番号	等価繰返し回数(軸力)										最大回数 (8波包絡)	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>											
	S <sub>d</sub> -D1	S <sub>d</sub> -11	S <sub>d</sub> -12	S <sub>d</sub> -13	S <sub>d</sub> -14	S <sub>d</sub> -21	S <sub>d</sub> -22	S <sub>d</sub> -31				
	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	

表 4-7 (1) 制御棒駆動機構ハウジング貫通部 (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (震度)

質点番号 () 内は鉛直質点番号	減衰 (%)	等価繰返し回数(震度)								最大回数 (8波包絡)	
		S <sub>d</sub> -D1	S <sub>d</sub> -11	S <sub>d</sub> -12	S <sub>d</sub> -13	S <sub>d</sub> -14	S <sub>d</sub> -21	S <sub>d</sub> -22	S <sub>d</sub> -31		
		UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD		









表4-1-2 炉心スプレインノズル (N5) (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (FRS, 震度)  
追而

表4-1-3 上鏡スプレインノズル (N6) (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (FRS)

質点番号 ()内は鉛直質 点番号	等価繰返し回数(震度)												最大回数 (8波包絡)															
	減 表 (%)			Sd-11			Sd-12			Sd-13				Sd-14			Sd-21			Sd-22			Sd-31					
	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD			

表4-1-4 ベントノズル (N7) (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (FRS)

質点番号 ()内は鉛直質 点番号	等価繰返し回数(震度)												最大回数 (8波包絡)															
	減 表 (%)			Sd-11			Sd-12			Sd-13				Sd-14			Sd-21			Sd-22			Sd-31					
	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD			

表4-1-5 ジェットポンプ計測管貫通部ノズル (N8) (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (FRS)

質点番号 ()内は鉛直質 点番号	等価繰返し回数(震度)												最大回数 (8波包絡)															
	減 表 (%)			Sd-11			Sd-12			Sd-13				Sd-14			Sd-21			Sd-22			Sd-31					
	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD			

表4-1-6 差圧検出・ほう酸水注入管ノズル (N10) (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (震度, 荷重)  
(追而)

表4-1-7 計装ノズル (N11) (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (FRS)

(追而)

表4-1-8 計装ノズル (N16) (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (FRS)

(追而)

表4-1-9 計装ノズル (N12) (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (FRS)

(追而)

表4-20 ドレンノズル (N15) (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (FRS)

質点番号 ()内は鉛直質 点番号	等価繰返し回数(震度)																								最大回数 (8波包絡)
	減表 (%)						Sd-D1		Sd-11		Sd-12		Sd-13		Sd-14		Sd-21		Sd-22		Sd-31				
	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

表4-21 低圧注水ノズル (N17) (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (FRS, 震度)  
(追面)

表4-22 上部シアラグ及びビスタパイザ (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (荷重, 震度)  
(追面)

表4-23 原子炉格納容器 機器搬入用ハッチ (S<sub>d</sub>) 等価繰返し回数算定結果 (荷重, 震度, FRS)  
(追面)



表 4 - 2 4 ( 2 ) 制御棒駆動機構 ( S<sub>d</sub> ) 等価繰返し回数算定結果 (モーメント)

質点番号	等価繰返し回数(モーメント)											最大回数 (Sd8 波包絡)	
	弾性設計用地震動 S d												
	Sd-D1	Sd-11	Sd-12	Sd-13	Sd-14	Sd-21	Sd-22	Sd-31					
NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW		

## 疲労評価の全対象設備

設備名称	疲労評価の実施の有無 ○：有 ×：無	省略理由
原子炉圧力容器 (クラス1 容器)	○	
原子炉圧力容器スカート (クラス1 容器)	○	
原子炉圧力容器スタビライザブラケット (クラス1 容器)	×	既工認実績から地震荷重による一次＋二次応力の裕度は一次応力よりも高い裕度を有するため、一次応力にて代表する。
スチームドライヤサポートブラケット (クラス1 容器)	×	既工認実績から地震荷重による一次＋二次応力の裕度は一次応力よりも高い裕度を有するため、一次応力にて代表する。
給水スパージャブラケット (クラス1 容器)	×	既工認実績から地震荷重による一次＋二次応力の裕度は一次応力よりも高い裕度を有するため、一次応力にて代表する。
炉心スプレイブラケット (クラス1 容器)	×	既工認実績から地震荷重による一次＋二次応力の裕度は一次応力よりも高い裕度を有するため、一次応力にて代表する。
差圧検出・ほう酸水注入管 (ティーよりN10ノズルまでの外管) (クラス1 配管)	×	設計・建設規格PVB-3140(6)を適用して疲労評価不要であることを確認しているため評価を省略する。
使用済燃料乾式貯蔵容器 (キャスク容器) (クラス1 容器)	×	設計・建設規格PVB-3140(6)を適用して疲労評価不要であることを確認しているため評価を省略する。
使用済燃料乾式貯蔵容器 (タイプII) (キャスク容器) (クラス1 容器相当)	×	設計・建設規格PVB-3140(6)を適用して疲労評価不要であることを確認しているため評価を省略する。
使用済燃料乾式貯蔵容器 (一次蓋締付けボルト) (クラス1 耐圧部テンションボルト) (容器)	○	
使用済燃料乾式貯蔵容器 (タイプII) (一次蓋締付けボルト) (クラス1 耐圧部テンションボルト) (容器)	○	
使用済燃料乾式貯蔵容器 (二次蓋) (クラス3 容器)	×	規格基準 (JEAG4601・補1984) に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。

設備名称	疲労評価の実施の有無 ○：有 ×：無	省略理由
使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプⅡ） （二次蓋） （クラス3容器相当）	×	規格基準（JEAG4601・補1984）に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ （クラス3容器）	×	規格基準（JEAG4601・補1984）に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ （クラス3容器）	×	規格基準（JEAG4601・補1984）に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
低圧マニホールド （クラス2，3容器）	×	規格基準（JEAG4601・補1984）に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
残留熱除去系熱交換器 （クラス2，3容器ラグ支持たて置円筒形容器）	×	規格基準（JEAG4601・補1984）に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
残留熱除去系ストレーナ （クラス2配管）	×	二次応力が発生しないため。
高圧炉心スプレイ系ストレーナ （クラス2配管準用）	×	二次応力が発生しないため。
低圧炉心スプレイ系ストレーナ （クラス2配管準用）	×	二次応力が発生しないため。
制御棒駆動機構 （クラス1配管）	○	
ほう酸水貯蔵タンク （クラス2，3容器 平底たて置円筒形容器）	×	規格基準（JEAG4601・補1984）に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
原子炉格納容器本体 （クラスMC容器）	○	
原子炉格納容器 機器搬入用ハッチ 所員用エアロック サプレッションチェンバ・アクセスハッチ 配管貫通部 電気配線貫通部 （クラスMC容器）	○	
原子炉格納容器本体 上部シアラグと格納容器胴との接合部 下部シアラグと格納容器胴との接合部 （クラスMC容器）	○	
原子炉格納容器 格納容器スプレイヘッド （ドライウエル側） （サプレッション・チェンバ側） （クラス2配管）	×	規格基準（JEAG4601・補1984）に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。

設備名称	疲労評価の実施の有無 ○：有 ×：無	省略理由
原子炉格納容器 ベント管 (クラス2配管)	×	規格基準 (JEAG4601・補1984) に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
非常用ディーゼル発電機 空気だめ (クラス2, 3容器 横置容器)	×	規格基準 (JEAG4601・補1984) に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
非常用ディーゼル発電機 空気だめ (クラス2, 3支持構造物 (クラス2, 3容器))	×	規格基準 (JEAG4601・補1984) に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
軽油貯蔵タンク (クラス2, 3容器 横置き円筒容器) (クラス3容器)	×	規格基準 (JEAG4601・補1984) に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
非常用ディーゼル発電機 燃料油デイタンク (クラス2, 3容器 横置容器)	○	
非常用ディーゼル発電機 燃料油デイタンク (クラス2, 3支持構造物 (クラス2, 3容器))	○	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 空気だめ (クラス2, 3容器 横置容器)	×	規格基準 (JEAG4601・補1984) に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 空気だめ (クラス2, 3支持構造物 (クラス2, 3容器))	×	規格基準 (JEAG4601・補1984) に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 燃料油デイタンク (クラス2, 3容器 横置容器)	×	規格基準 (JEAG4601・補1984) に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 燃料油デイタンク (クラス2, 3支持構造物 (クラス2, 3容器))	×	規格基準 (JEAG4601・補1984) に従い、一次＋二次応力で求めた応力範囲が2Sy以下であることを確認して疲労評価を省略している。
クラス1配管	○	
クラス2, 3配管	○	一次＋二次応力の評価で許容値を満足する場合は省略



等価繰返し回数の算定における材料物性のばらつき等の影響検討

「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」の疲労評価用地震等価繰返し回数の検討において、ピーク応力法を用いた等価繰返し回数の評価時の解析条件として、地盤条件を変更した検討をしている。本資料においては、材料物性のばらつき等を考慮した建屋応答時刻歴波を用いた場合の影響検討を実施した。

1. 材料物性のばらつき等を考慮した場合の等価繰返し回数の算定

原子炉建屋における建屋剛性及び地盤物性のばらつきを考慮した場合の等価繰返し回数を算定する。表 1 に等価繰返し回数の算定条件を示す。

表 1 等価繰返し回数の算定条件

対象建屋	ピーク応力	地震動	固有周期	減衰定数	設計疲労線図	検討ケース
原子炉建屋	1471MPa※	Ss-D1	全周期帯	0.5% 1%	炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼	(ケース 1) 地盤物性 + $\sigma$ 考慮モデル
						(ケース 2) 地盤物性 - $\sigma$ 考慮モデル
						(ケース 3) 建屋剛性 考慮モデル

※ピーク応力については、150kg/mm<sup>2</sup> (1471MPa) を用いる。

表 2 に等価繰返し回数の算定結果を示す。材料物性のばらつき等を考慮した場合でも、等価繰返し回数の算定結果への影響は軽微であり、一律に設定した繰返し回数の 160 回以下であることが確認できる。

2. 地盤物性の不確かさを重畳させた場合の影響検討  
(追而)

表 2 材料物性のばらつき等を考慮した原子炉建屋の等価繰返し回数の算定結果

評価点*	減衰	基本ケース			ばらつきケース								
		Ss-D1			ケース 1			ケース 2			ケース 3		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
原子炉建屋 EL 46.500m 質点 No. 3	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL 38.800m 質点 No. 4	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL 34.700m 質点 No. 5	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL 29.000m 質点 No. 6	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL 20.300m 質点 No. 7	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL 14.000m 質点 No. 8	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL 8.200m 質点 No. 9	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL 2.000m 質点 No. 10	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉建屋 EL -4.000m 質点 No. 11	h=0.5%												
	h=1.0%												

\* : 質点 No. は添付 8 図 7 参照

表3 材料物性のばらつき等を考慮した原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の等価繰返し回数  
の算定結果

評価点*	減衰	基本ケース			ばらつきケース								
		Ss-D1			ケース1			ケース2			ケース3		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
原子炉格納容器 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉格納容器 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉遮蔽 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉遮蔽 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉本体の基礎 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉本体の基礎 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												
原子炉圧力容器 [ ]	h=0.5%												
	h=1.0%												

\* : 質点 No. は添付8 図5 参照

東海第二発電所 多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法について

1. はじめに

本資料は多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法についてまとめたものである。本内容は電共研「新規制基準対応を踏まえた機器・配管系評価方法に関する研究」（平成29年3月）にて検討されており，多方向入力において各方向の等価繰返し回数の最大値を用いることは妥当であることを示すものである。

