

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-028-3 改0
提出年月日	2023年10月6日

耐震評価における等価繰返し回数について

2023年10月

東京電力ホールディングス株式会社

柏崎刈羽 6 号機 耐震評価における等価繰返し回数について

(目次)

1.	はじめに	1
2.	柏崎刈羽 6 号機の耐震評価における疲労評価と等価繰返し回数.....	2
3.	一律に設定する地震等価繰返し回数の設定について.....	4
4.	個別に設定する等価繰返し回数の設定について.....	20
5.	まとめ	25
別紙 1	等価繰返し回数の算出結果 (基本ケース)	
別紙 2	材料物性の不確かさ等を考慮する場合の条件	
別紙 3	等価繰返し回数の算出結果 (材料物性の不確かさ等の考慮)	
別紙 4	等価繰返し回数の算出位置	
別紙 5	ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方	
別紙 6	等価繰返し回数算出プログラムについて	
別紙 7	疲労評価の対象設備及び部位毎のピーク応力	
別紙 8	ピーク応力の算出方法について	
別紙 9	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	
別紙 10	柏崎刈羽 6 号機 等価繰返し回数の保守性について	
別紙 11	ピーク応力の大きさと等価繰返し回数の関係について	
別紙 12	等価繰返し回数の算出に用いる地震動の考え方について	

1. はじめに

柏崎刈羽6号機の今回工認における耐震評価の疲労評価は、J E A G 4 6 0 1-1987 (以下「J E A G 4 6 0 1」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れ累積係数UFを評価できるよう設定した等価繰返し回数を設定することで、評価の簡便化を図っている。VI-2-1-9「機能維持の基本方針」で記載しているとおり、柏崎刈羽6号機の疲労評価に用いる等価繰返し回数は、一律に設定する値 (S_s : 200回, S_d : 200回) 又は個別に設定する値を用いている。

なお、建設時は、S₁, S₂地震動による検討を行い、等価繰返し回数 (S₁ : 60回, S₂ : 60回) を設定している。

本図書では疲労評価に用いる等価繰返し回数の設定について説明する。

※ J E A G 4 6 0 1 p.574 より抜粋

疲れ解析は、1次+2次+ピーク応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。

なお、地震動の等価繰返し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強さ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。

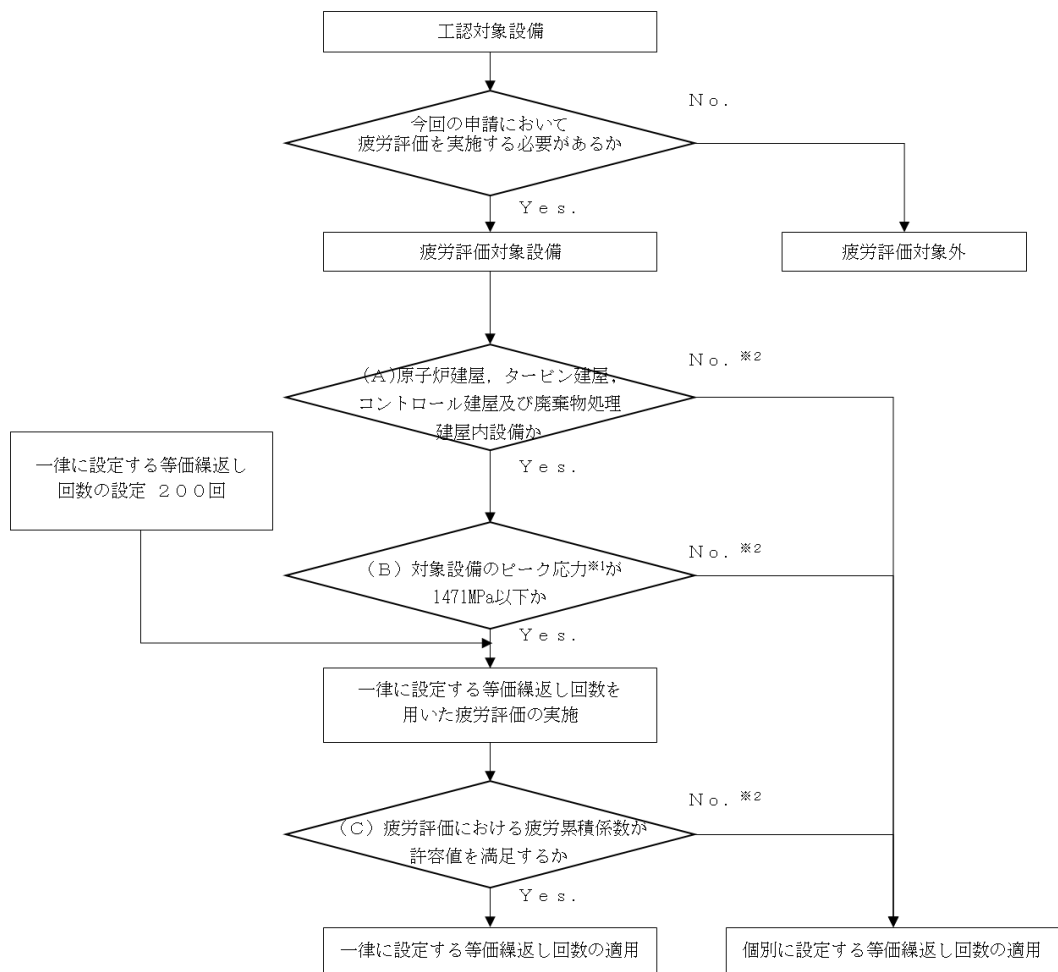
2. 柏崎刈羽 6 号機の耐震評価における疲労評価と等価繰返し回数

柏崎刈羽 6 号機の耐震評価における疲労評価は、J E A G 4 6 0 1 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。等価繰返し回数は建設時と同じピーク応力法による算出結果に基づき、一律に設定する値又は個別に設定する値を用いている。

一律に設定する値と、個別に設定する値の使い分けフローを図 2-1 に示す。ここで、フロー中の疲労評価対象設備は、工認耐震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。

一律に設定する値又は個別に設定する値の使い分けは以下 3 点がある。

- 一律に設定する等価繰返し回数を用いるのは原子炉建屋, タービン建屋, コントロール建屋及び廃棄物処理建屋内の疲労評価対象設備とする。これらの建屋以外に設置される疲労評価対象設備は、個別に設定する等価繰返し回数を用いる (図 2-1 の (A))。
- 一律に設定する等価繰返し回数は、疲労評価対象設備に発生するピーク応力が 1471MPa 以下となる疲労評価対象設備に用いる。1471MPa を超える疲労評価対象設備は個別に設定する値を用いる (図 2-1 の (B))。
- 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が許容値 (疲れ累積係数が 1 以下) を満足しない疲労評価対象設備については、個別に設定する等価繰返し回数を用いる (図 2-1 の (C))。



※1 疲労評価対象設備のピーク応力は、別紙7参照。

※2 該当する疲労評価対象設備は4. 参照。

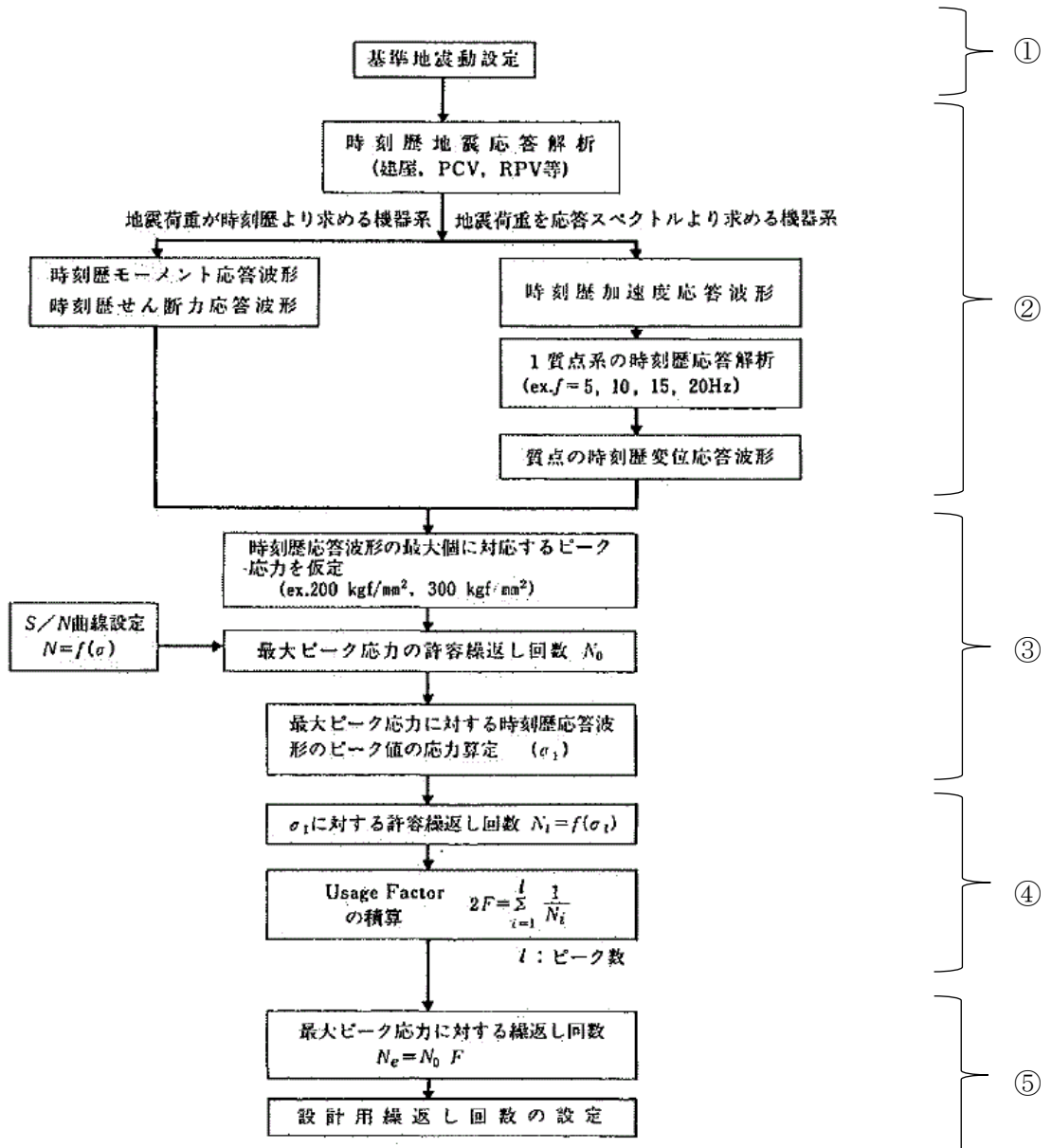
図2-1 適用する等価繰返し回数の使い分け

3. 一律に設定する地震等価繰返し回数の設定について

(1) 算出方法

柏崎刈羽6号機のピーク応力法による等価繰返し回数算出方法の手順を、J E A G 4 6 0 1に記載されたピーク応力法による算出フロー(図3.(1)-1,以下「フロー」という。)との対比で説明する。また、柏崎刈羽6号機の建設時と今回工認の算出条件の比較を表3.(1)-1に示す。

次頁以降に具体的な手順を示す。①~⑤の手順はフロー中の番号に対応している。



(J E A G 4 6 0 1 p576 に加筆)

図3.(1)-1 ピーク応力法による算出フロー

① 地震動の設定

柏崎刈羽6号機の一律に設定する等価繰返し回数の設定に用いる地震動として、基準地震動 S_s に以下の考慮を行う（3.（2）参照）。

○柏崎刈羽原子力発電所は2007年に発生した新潟県中越沖地震（以下「NCO」という。）を被災していることから、本地震動を考慮する。

○米国の知見（SRP3.7.3Rev.4）を参考に、弾性設計用地震動 S_d の1/3倍の地震動5回分を考慮する。

② 時刻歴波形の設定

等価繰返し回数の算出に用いる時刻歴波形は、地震荷重を時刻歴より求める機器系の場合（左側のフロー（以下「時刻歴フロー」という。））と、地震荷重を応答スペクトルより求める機器系の場合（右側のフロー（以下「応答スペクトルフロー」という。））の2種類の方法で設定する。

時刻歴フローでは、大型機器系及び炉内構造物系の地震応答解析（フローでは「時刻歴地震応答解析」と記載）から求めた時刻歴モーメント応答波形、時刻歴せん断力応答波形及び時刻歴軸力応答波形を用いる。

応答スペクトルフローでは、各建屋の地震応答解析、大型機器系及び炉内構造物系の地震応答解析から求めた時刻歴加速度応答波形を入力とした固有振動数 f の1質点系モデルの時刻歴変位応答波形を用いる。この時刻歴変位応答波形は、固有振動数全て（1～20Hz）に対して算出する。

③ 時刻歴ピーク応力値の設定

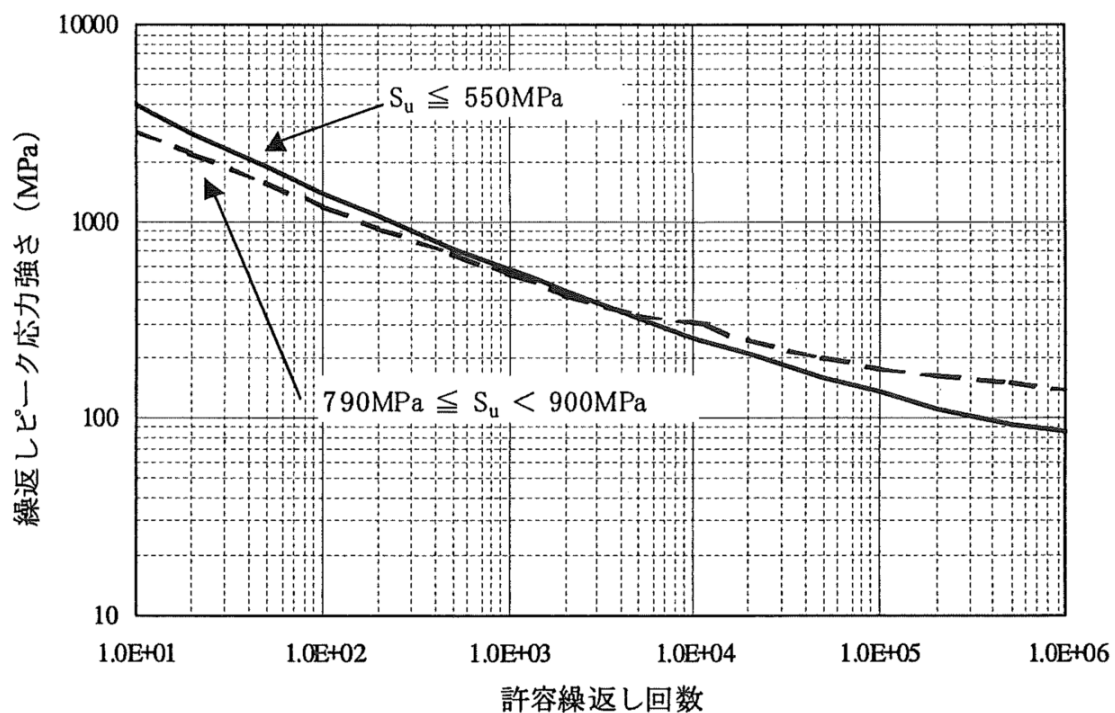
疲労評価対象設備に発生するピーク応力の最大値をフロー②で求めた時刻歴波形の最大値とすることで、応力の時刻歴波形を作成する。フロー③の「時刻歴応答波形の最大値に対するピーク応力を仮定」とは、疲労評価対象設備のピーク応力ではなく、疲労評価対象設備全てのピーク応力の最大値を時刻歴波形の最大値とすることに対応している。また、実際の多質点系モデルの場合、ピーク応力は各モードの重ね合わせの結果として算出されるものであり、必ずしも波形の最大値がピーク応力になるとは限らないが、フロー③では多質点系モデルの場合においても波形の最大値がピーク応力であることを指している。

ここで、柏崎刈羽6号機における等価繰返し回数設定に用いるピーク応力は、1471MPa[※]を用いており、疲労評価対象設備のピーク応力が1471MPaを超える場合は個別に設定を行う。

※：「昭和55年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」にて十分とされている値（150kg/mm²）を単位換算した値。

④ 疲れ累積係数UF (Usage Factor) の算出

図3.(1)-2に示すJ S ME設計・建設規格に記載される設計疲労線図を用い、応力時刻歴波形に対して各時刻歴振幅に対する許容繰返し回数を算出する。なお、時刻歴振幅とそれが何回繰返されるか(ピークのサイクル数)の算出方法はレインフロー法を用いる(別紙5参照)。



(J S ME設計・建設規格より抜粋)

図3.(1)-2 炭素鋼, 低合金鋼及び高張力鋼の設計疲労線図

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を算出する（図3.（1）－3参照）。

$$UF = \frac{n_0}{N_0} + \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} \dots$$

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

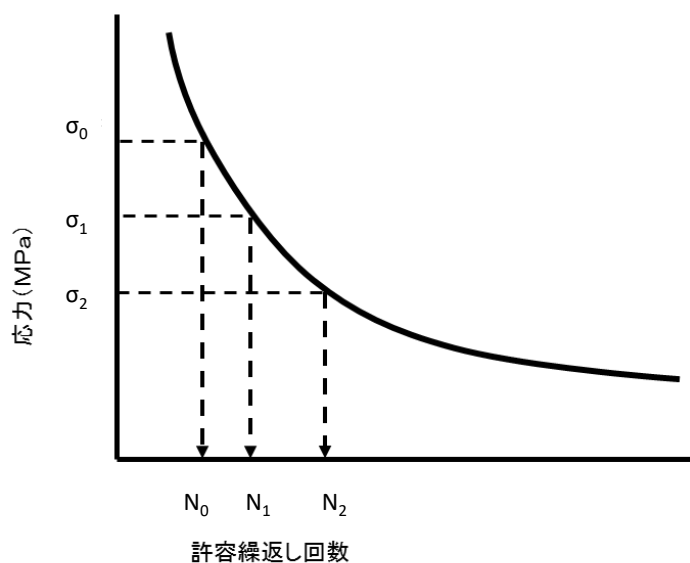
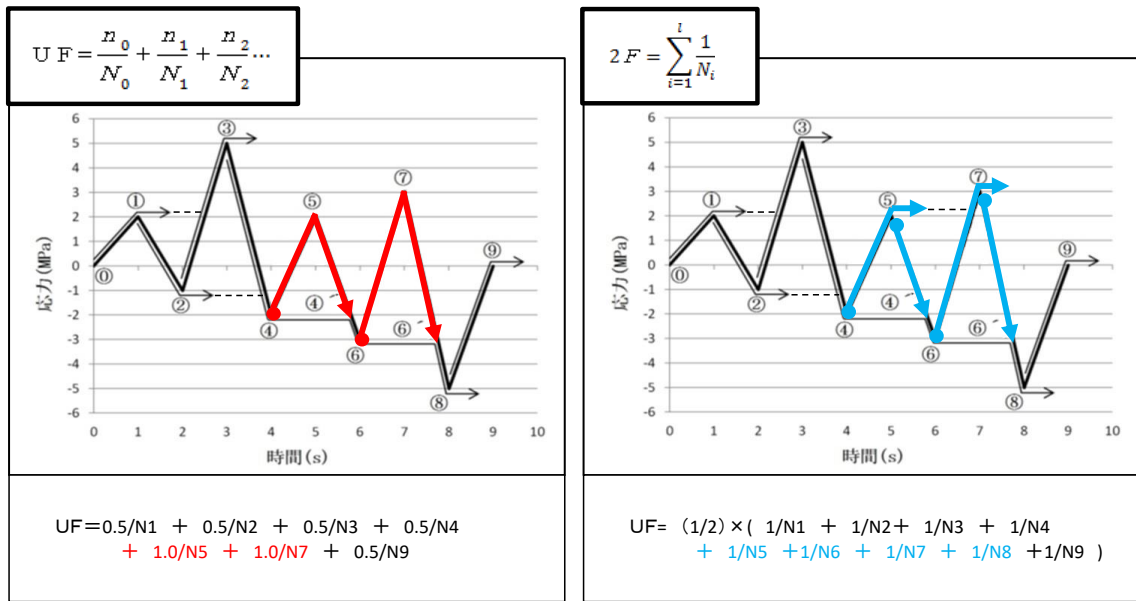


図3.（1）－3 UF算出方法

注記：上式では、片振りのピーク点を0.5サイクル、両振りのピーク点を1サイクルとしてUFを算出可能な式であることに対して、図3.（1）－1フローにおけるUFの積算式 ($2F = \sum_{i=1}^l \frac{1}{N_i}$) は各ピーク点を0.5サイクルとしてサイクル数をカウントすることを前提とした式であるため、係数に相違がある（図3.（1）－4参照）。



ピーク点		ピーク応力 σ_i (MPa)	σ_i に対する 許容繰返し回数 N_i (回)
START	END		
①	②	σ_1	N_1
②	③	σ_2	N_2
③	④	σ_3	N_3
④	⑤	σ_4	N_4
⑤	④	σ_5	N_5
⑥	⑦	σ_6	N_6
⑦	⑥	σ_7	N_7
⑧	⑨	σ_8	N_8
⑨	⑧	σ_9	N_9

(※) : ⑤⇒④' での σ_i および N_i は ④⇒⑤での σ_i および N_i と等しい。
 (※※) : ⑦⇒⑥' での σ_i および N_i は ⑥⇒⑦での σ_i および N_i と等しい。

図 3. (1) - 4 疲れ累積係数UFの積算方法の違いの概念図

⑤ 等価繰返し回数 N_e の算出

フロー④で算出したUFとフロー③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。

$$N_e = UF \times N_0$$

以上を踏まえ、柏崎刈羽 6 号機の等価繰返し回数の算出方法を図 3. (1) - 5 に示す。

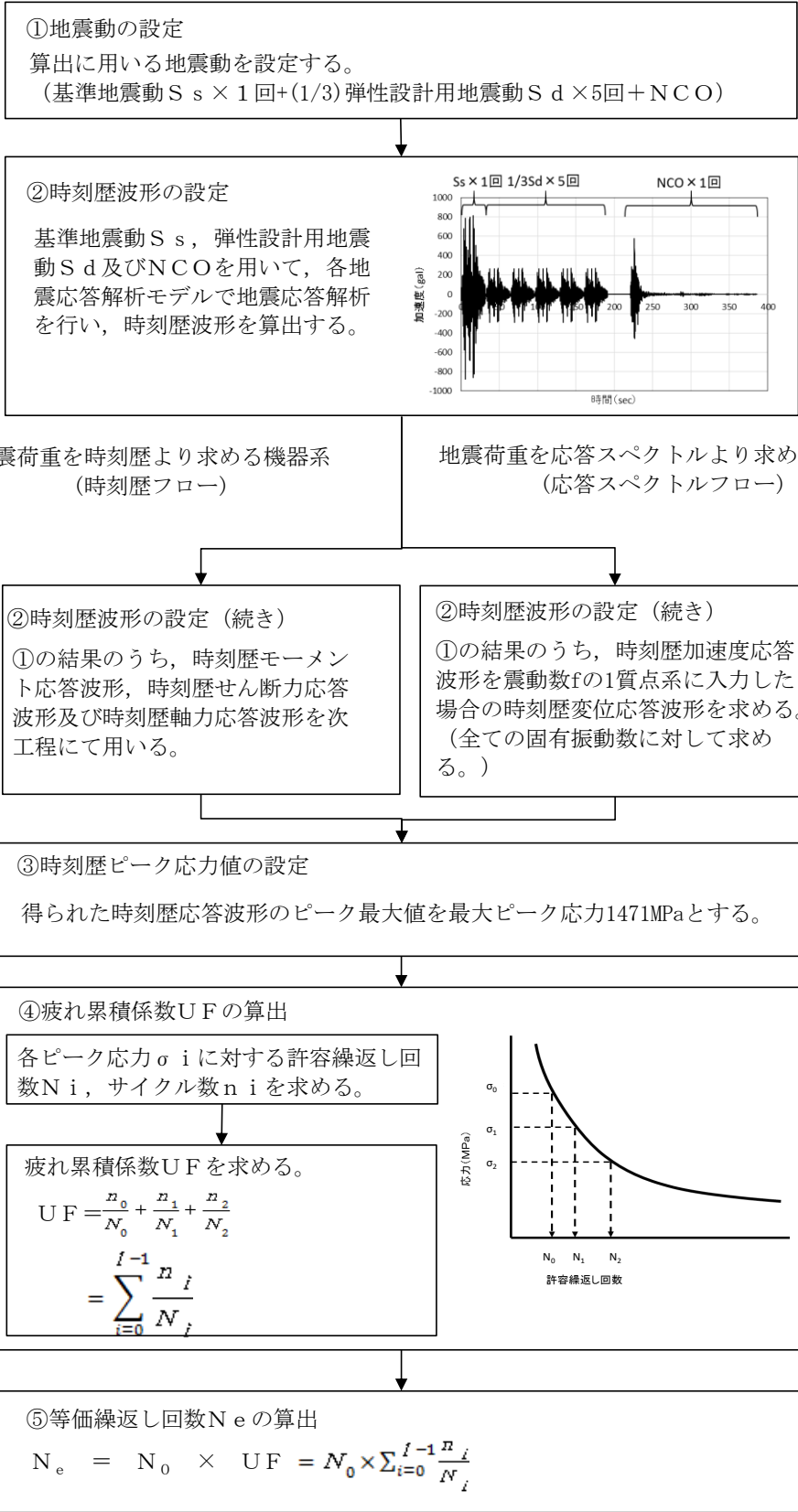


図3.(1) - 5 等価繰返し回数の算出方法

表3.(1)-1 昭和55年度 耐震設計の標準化に関する報告書及び柏崎刈羽刈羽原子力発電所第6号機における
一律に設定する等価繰返し回数の建設時と今回工認の算出条件の比較

		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)		柏崎刈羽原子力発電所第6号機	
				建設時	今回工認
				建設時における 等価繰返し回数	一律に設定する 等価繰返し回数
対象設備		原子炉圧力 容器スカート	第一種配管	原子炉格納容器	原子炉建屋に 設置された設備
算出方法		時刻歴解析より算出される時刻 歴モーメントを用いた算出方法 (J E A G 4 6 0 1-1987におけ る時刻歴フロー)	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 4 6 0 1 -1987における応答スペクトルフ ロー)	時刻歴解析より算出される時刻歴 モーメントを用いた算出方法(J E A G 4 6 0 1-1987 における時 刻歴フロー)	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 4 6 0 1-1987 における応答スペクトルフロー)
回数算出に用い る応答時刻歴波	波形	時刻歴モーメント波形	変位応答時刻歴波形	加速度応答時刻歴波形	変位応答時刻歴波形
	時刻歴最大値 (設備の最大 ピーク応力)	5種類のピーク応力 (最大300kg/mm ²)	代表設備の最大ピーク応力を 安全側に設定(300kg/mm ²)	SGV49: 40kg/mm ² SUS304L: 35kg/mm ² (1次+2次応力の許容応力3S)	150kg/mm ² (1471MPa) 「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 にて十分とされる値
対象建屋・床		代表設備の設置床面	同左	代表質点 原子炉格納容器	全ての床面(質点)
固有周期		時刻歴解析結果より直接算定	設備の固有周期ではなく、 全固有周期帯	大型機器系の地震応答解析モデル の時刻歴解析結果より直接算定	設備の固有周期ではなく、 全固有周期帯
減衰定数		報告書に言及なし	同左	時刻歴解析を実施するため、地震 応答解析モデルで算定	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0%
設計用疲労線図		代表設備材料の線図を使用	同左	SGV49: 炭素鋼 SUS304L: オーステナイト系ステン レス鋼	炭素鋼
各方向の算出結果の組合せ		報告書に言及なし	同左	なし (NS・EWの2方向のうち最大とな る値)	なし (NS・EW・UDの3方向のうち最 大となる値)
材料物性の不確かさ等の考慮		あり	報告書に言及なし	なし	あり*1(コンクリート剛性、回 転ばね定数、地盤剛性他)

※1 今回工認における等価繰返し回数の算出結果は、時刻歴フローの算出結果に対し、応答スペクトルフローの回数が大きい。このた
め、材料物性の不確かさ等の考慮のための影響検討は応答スペクトルフローにて検討している。

- (2) 一律に設定する等価繰返し回数の算出パラメータの設定の考え方
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項目があり、各項目の妥当性を検討し、一律に設定する等価繰返し回数が適切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（質点）
- ④地震動
- ⑤減衰定数
- ⑥設計疲労線図
- ⑦材料物性の不確かさ等の考慮

① ピーク応力

「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」にてピーク応力の設定値が高くなるほど等価繰返し回数が大きくなる傾向となることが確認されている（別紙 1 1 でその傾向の計算例を示す。）。当該報告書の中でピーク応力の設定値として十分とされている値（ $150\text{kg}/\text{mm}^2$ ）※を参考に、当該の値を単位換算した 1471MPa を柏崎刈羽 6 号機の等価繰返し回数の算出に用いる。

また、ピーク応力の設定の適切性の確認は、各疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa に包絡されることを確認する必要がある。この場合の各疲労評価対象設備のピーク応力は、水平 2 方向と鉛直方向の地震力の組合せを考慮したものとする。

なお、疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa を超える場合は個別に等価繰返し回数の設定を行う。

※ 「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する報告書」での整理。

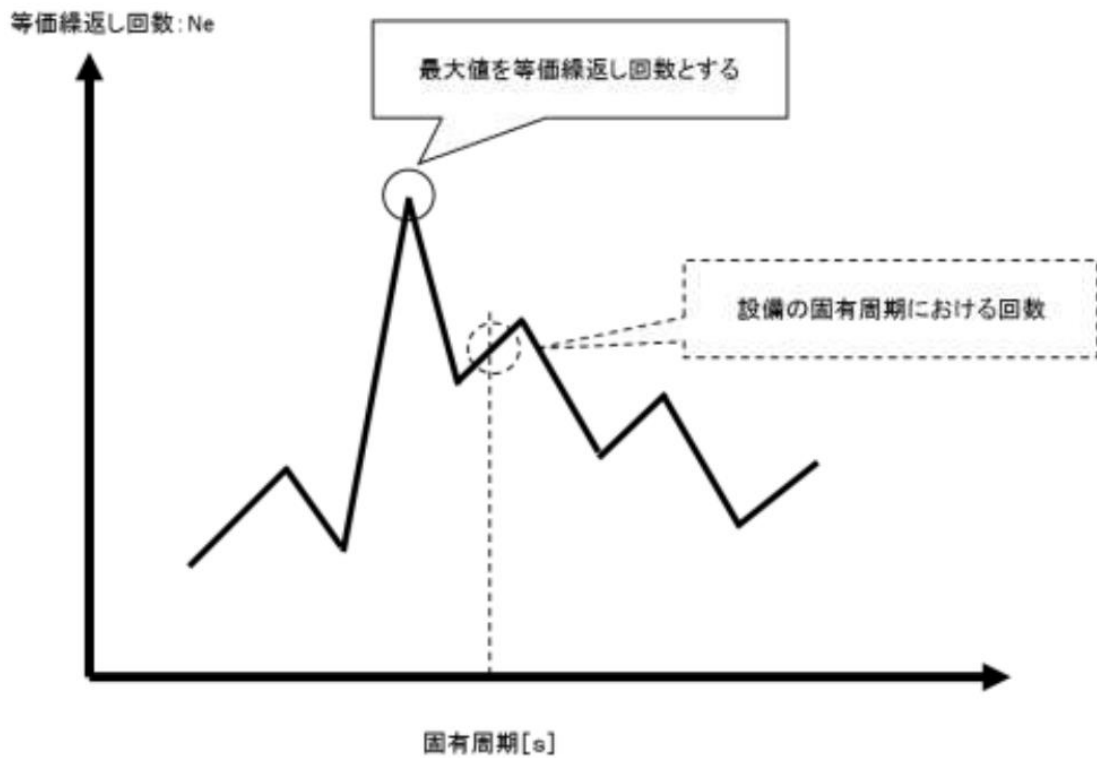
現在用いられている材料において R P V 本体材料である S Q V 2 A 及び S F V V 3 の一次＋二次応力に対する許容値が最も高く、その値は $3\text{ S m}=56.4\text{kg}/\text{mm}^2$ となる。

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、 $56.4 \times 5 \div 2=141\text{kg}/\text{mm}^2$ となることから、最大ピーク応力としては、 $150\text{kg}/\text{mm}^2$ まで考慮すれば十分としている。

② 固有周期

今回工認では、全固有周期帯（0.05s～1.00s）で算出した最大の等価繰返し回数を包絡できるように設定する。実際の設備は、特定の固有周期を有していることから、当該疲労評価対象設備の等価繰返し回数は確実にそれ以下の回数となり、保守側の設定となる。

なお、固有周期の算出刻みの設定に当たっては、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」で設備設計に用いる床応答スペクトルと同様の計算間隔を用いた。



③ 対象床面（質点）

等価繰返し回数を設定する床面（質点）はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」で設備設計に用いる床応答曲線を算出する全ての床面と、VI-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及びVI-2-3-1「炉心，原子炉压力容器及び压力容器内部構造物の地震応答計算書」で設備設計に用いる荷重を算出する全ての質点（柏崎刈羽6号機において実際に疲労評価を実施する設備が有る床面以外も含む。）とする。

④ 地震動

柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動は、 $S_s - 1 \sim 8$ の8波がある。今回の等価繰返し回数の算出には全ての基準地震動を用いる。

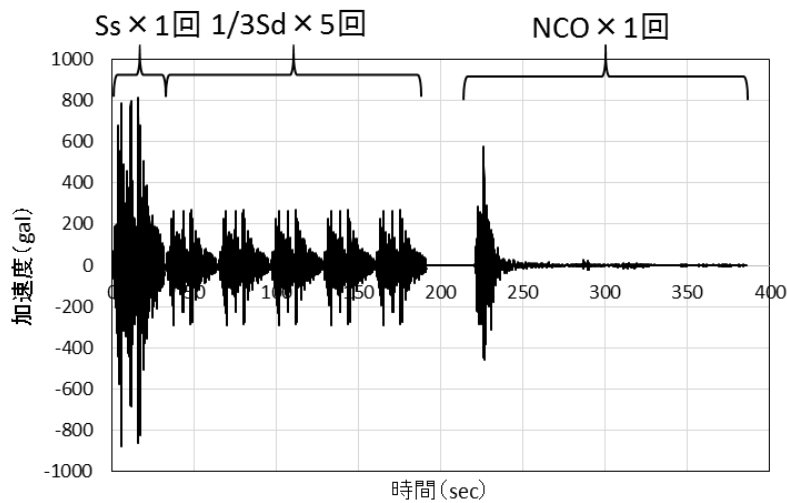
また、基準地震動に加えて以下の2点を考慮する。

- ・ 柏崎刈羽6号機設備はNCOを被災していることから、NCOの地震動の影響を考慮する。
- ・ 米国SRP3.7.3Rev.4の考え方を参考に、弾性設計用地震動 S_d の1/3倍の地震動5回分を考慮する（別紙12参照）。

上記より今回の算出に用いる地震動は、基準地震動 S_s ，弾性設計用地震動 S_d の1/3倍の地震動5回分及びNCOを組み合わせることとし、表3.(2)-1に示す8波とする。また、図3.(2)-1に算出に用いた地震動の一例を示す。

表3.(2)-1 柏崎刈羽6号機 今回工認の等価繰返し回数算出用の地震動

今回工認の算出用地震動		
$S_s - 1 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 1 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 2 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 2 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 3 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 3 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 4 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 4 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 5 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 5 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 6 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 6 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 7 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 7 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 8 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 8 \times 5$ 回 + NCO



$$(S_s - 1 \times 1 \text{回} + 1/3S_d - 1 \times 5 \text{回} + NCO)$$

図 3. (2) - 1 算出に用いた入力地震動の例

⑤ 減衰定数

応答スペクトルフローでの算出に用いる 1 質点系の時刻歴応答解析の減衰定数は、網羅性を確保する観点から機器・配管系の評価用の減衰定数としてよく用いられる 8 ケース^(※)とする。

(※) : 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%, 4.0%, 5.0%

⑥ 設計疲労線図

今回の算出に用いる設計疲労線図は J S M E 設計・建設規格に記載される「炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼」の設計用疲労線図とする。「炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼」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 J S M E 設計・建設規格に記載される「オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金」よりも許容繰返し回数が小さくなり，等価繰返し回数が大きく算出されるため，今回の算出においては「炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼」を用いる。

⑦ 材料物性の不確かさ等の考慮

VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」にて材料物性のばらつき等を適切に考慮する方針としていることから、今回工認の等価繰返し回数についても、算出に用いる地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等による影響を考慮する。

考慮にあたっては、基本ケースの地震応答解析による結果から等価繰返し回数の算出に支配的となる地震動・減衰定数を特定し、特定した地震動・減衰定数を用いて材料物性の不確かさ等を考慮した検討ケースでの等価繰返し回数を算出した後、算出結果を踏まえて安全側に設定を行う。具体的なフローを図3.(2) - 2に示す。

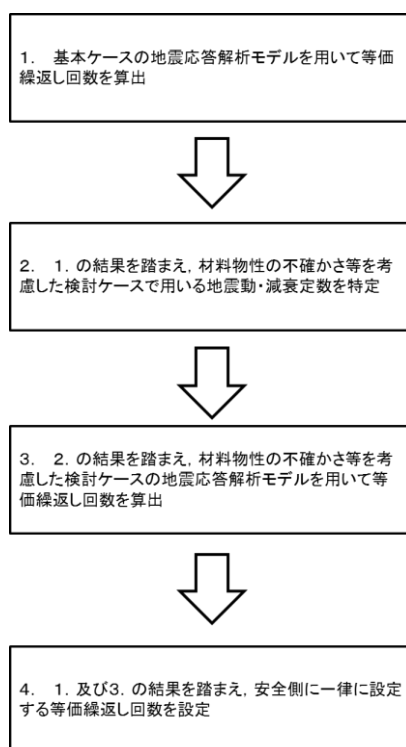


図3.(2) - 2 一律に設定する等価繰返し回数 設定フロー

(3) 算出結果

基本ケースの地震応答解析モデルにて算出した等価繰返し回数を表3.(3) - 1に, 詳細内訳を別紙1に示す。また基本ケースの結果で最大となる減衰定数, 地震動にて算出した材料物性の不確かさ等を考慮した結果を表3.(3) - 2に示す。また, この算出条件及び詳細内訳は別紙2~4に示す。

表3.(3) - 1 地震応答解析モデル毎の最大等価繰返し回数 (基本ケース)

地震応答解析モデル	回数が最大となる条件		T.M.S.L. (m)	方向	最大回数
	減衰定数 (%)	地震動			
原子炉建屋の地震応答解析モデル	0.5	S _s - 3系 ^{※1}	49.700	UD	
大型機器系の地震応答解析モデル	0.5	S _s - 3系 ^{※1}	26.013	EW	
炉内構造物系の地震応答解析モデル	0.5	S _s - 3系 ^{※1}	14.379	UD	
タービン建屋の地震応答解析モデル	0.5	S _s - 1系 ^{※2}	30.900	EW	
	0.5	S _s - 3系 ^{※1}	38.600	EW	
コントロール建屋の地震応答解析モデル	0.5	S _s - 3系 ^{※1}	24.100	UD	
廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル	2.0	S _s - 3系 ^{※1}	44.300	UD	

※1 S_s - 3 × 1回 + 1/3 S_d - 3 × 5回 + NCO

※2 S_s - 1 × 1回 + 1/3 S_d - 1 × 5回 + NCO

表3.(3) - 2 地震応答解析モデル毎の最大等価繰返し回数
(材料物性の不確かさ等を考慮)

地震応答 解析モデル	算出条件		T. M. S. L. (m)	方 向	最大回数		比率 (不確かさ 等考慮/基 本ケース)
	減衰 定数 (%)	地震動			基本 ケース	不確かさ等 考慮	
原子炉建屋の 地震応答解析モデル	0.5	S _s - 3系 ^{※1}	49.700	UD			
大型機器系の 地震応答解析モデル	0.5	S _s - 3系 ^{※1}	26.013	EW			
炉内構造物系の 地震応答解析モデル	0.5	S _s - 3系 ^{※1}	14.379	UD			
タービン建屋の 地震応答解析モデル	0.5	S _s - 1系 ^{※2}	30.900	EW			
	0.5	S _s - 3系 ^{※1}	38.600	EW			
コントロール建屋の 地震応答解析モデル	0.5	S _s - 3系 ^{※1}	24.100	UD			
廃棄物処理建屋の 地震応答解析モデル	2.0	S _s - 3系 ^{※1}	44.300	UD			

※1 S_s - 3 × 1 回 + 1/3 S_d - 3 × 5 回 + NCO

※2 S_s - 1 × 1 回 + 1/3 S_d - 1 × 5 回 + NCO

(4) 弾性設計用地震動 S_d の等価繰返し回数について

柏崎刈羽原子力発電所の弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s に係数 0.5 を乗じて設定しており、建屋の各床面（質点）における弾性設計用地震動 S_d による応答波形は、基準地震動 S_s による応答波形にほぼ等しくなる。また、弾性設計用地震動 S_d により発生するピーク応力は、基準地震動 S_s により発生するピーク応力よりも小さくなる。

ピーク応力法においては、波形が等しい2つの地震動で等価繰返し回数を算出する場合、ピーク応力が高くなるほど等価繰返し回数の算出が保守的となる（「3. (2) ①ピーク応力」参照）。

したがって、基準地震動 S_s の地震動及びピーク応力に基づき算出した等価繰返し回数を弾性設計用地震動 S_d の等価繰返し回数に用いることは保守側の設定となる。

以上の理由から、今回工認における弾性設計用地震動 S_d の等価繰返し回数は、弾性設計用地震動 S_d を用いた等価繰返し回数の算出は行わず、基準地震動 S_s の等価繰返し回数と同じ回数とする。

(5) 結果まとめ

基本ケースでの等価繰返し回数の算出結果の最大値は、タービン建屋の地震応答解析モデル T. M. S. L. 30.900 (m) の□回、材料物性の不確かさ等を考慮したケースでの算出結果の最大値は、タービン建屋の地震応答解析モデル T. M. S. L. 30.900 (m) の□回であった。

基本ケース、材料物性の不確かさ等を考慮したケースのいずれについても、タービン建屋の地震応答解析モデル T. M. S. L. 30.900 (m) で最大値を示す結果となったが、タービン建屋の地震応答解析モデル T. M. S. L. 30.900 (m) には疲労評価対象設備がないことから、一律に設定する等価繰返し回数の適用範囲外とする。

タービン建屋の地震応答解析モデル T. M. S. L. 30.900 (m) を除くと、基本ケースでの算出結果の最大値は、大型機器系の地震応答解析モデル T. M. S. L. 26.013 (m) モデルの□回、材料物性の不確かさ等を考慮した算出の最大値は大型機器系の地震応答解析モデル T. M. S. L. 26.013 (m) の□回であった。

上記の結果より、柏崎刈羽 6 号機の一律に設定する等価繰返し回数は 200 回とした。

なお、等価繰返し回数の算出は、回数が保守的になるよう算出パラメータを設定して等価繰返し回数を算出した結果である (3. (2) 参照)。また、今回工認の疲労評価手法は、柏崎刈羽 6 号機の地震動の特徴により保守側の結果を与えるものである (別紙 10 4. 参照)。

4. 個別に設定する等価繰返し回数の設定について

柏崎刈羽 6 号機の今回工認において一律に設定す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場合について説明する。

(1) 対象設備

個別に設定する等価繰返し回数を設定する必要がある疲労評価対象設備は図 2-1 のフローに従って抽出される以下の疲労評価対象設備となる。

- (A) 原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋及び廃棄物処理建屋以外に設置される疲労評価対象設備
- (B) 発生するピーク応力が 1471MPa を超える疲労評価対象設備
- (C) 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が許容値を満足しない疲労評価対象設備

(2) 個別に設定する等価繰返し回数設定方針

個別に設定する場合の算出条件を一律に設定する等価繰返し回数と併せ表 4.(2) - 1 に示す。

算出条件の一部（設置場所，固有周期，減衰定数，ピーク応力，設計用疲労線図）に疲労評価対象設備固有の条件を用いた上で算出することで，各疲労評価対象設備に対して個別に設定する等価繰返し回数とする。

また，一律に設定する等価繰返し回数と同様に，材料物性の不確かさ等の影響を考慮する。

表 4.(2) - 1 一律に設定する等価繰返し回数と個別に設定する等価繰返し回数の条件

条件の項目	一律に設定する等価繰返し回数	個別に設定する等価繰返し回数	備考
対象建屋・床	全床面（質点）	疲労評価対象設備の設置位置	
ピーク応力	1471MPa	1471MPa ^{※1}	※1 必要に応じて疲労評価対象設備のピーク応力を用いる。
固有周期	全固有周期	全固有周期 ^{※2}	※2 必要に応じて疲労評価対象設備の固有周期を用いる。
減衰定数	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0%	設備の減衰定数	
設計用疲労線図	炭素鋼	炭素鋼 ^{※3}	※3 必要に応じて疲労評価対象設備の使用材料の設計用疲労線図を用いる。

(3) 算出結果

(2) 項の方針に基づき算出した個別に設定する等価繰返し回数を以下に示す。

(A) 原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋及び廃棄物処理建屋以外に設置される疲労評価対象設備
該当する設備は無し。

(B) 発生するピーク応力が 1471MPa を超える疲労評価対象設備
該当する設備は無し。

(C) 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が許容値を満足しない疲労評価対象設備
該当する設備として高圧注水系配管，低圧代替注水系配管，原子炉補機冷却水系配管がある。算出条件，算出結果及び個別に設定する等価繰返し回数を表 4. (3) - 1 ~ 表 4. (3) - 3 に示す。

表4.(3)-1 高圧注水系配管(HPCF-008) 個別に設定する等価繰返し回数

算出条件						算出結果				個別に設定する 等価繰返し回数	
建屋・構築物	T.M.S.L. (m)	減衰定数 (%)	ピーク応力 (MPa)	1質点系の 固有周期(s)	設計用 疲労線図	等価繰返し回数					最大 回数
						検討ケース	NS	EW	UD		
原子炉建屋			1471	全固有周期	炭素鋼	基本ケース					80
						材料物性の不確かさを考慮					
基本ケース											
材料物性の不確かさを考慮											
タービン建屋						基本ケース					
材料物性の不確かさを考慮											
基本ケース											
材料物性の不確かさを考慮											
廃棄物処理 建屋						基本ケース					
						材料物性の不確かさを考慮					

注：下線部は最大の等価繰返し回数を示す。

表4.(3)-2 低圧代替注水系配管(KMUWC-763) 個別に設定する等価繰返し回数

算出条件					算出結果				個別に設定する 等価繰返し回数	
建屋・構築物	T. M. S. L. (m)	減衰定数 (%)	ピーク応力 (MPa)	1 質点系の 固有周期 (s)	設計用 疲労線図	等価繰返し回数				最大 回数
						検討ケース	NS	EW		
タービン建屋			1471	全固有周期	炭素鋼	基本ケース				80
						材料物性の不確かさ等を考慮				
廃棄物処理 建屋			1471	全固有周期	炭素鋼	基本ケース				80
						材料物性の不確かさ等を考慮				
						基本ケース				
						材料物性の不確かさ等を考慮				

注：下線部は最大の等価繰返し回数を示す。

表4.(3)-3 原子炉補機冷却水系配管(RCW-A02) 等価繰返し回数算出結果

算出条件					算出結果				個別に設定する 等価繰返し回数	
建屋・構築物	T. M. S. L. (m)	減衰定数 (%)	ピーク応力 (MPa)	1 質点系の 固有周期 (s)	設計用 疲労線図	等価繰返し回数				最大 回数
						検討ケース	NS	EW		
原子炉建屋			1471	全固有周期	炭素鋼	基本ケース				90
						材料物性の不確かさを考慮				
基本ケース										
材料物性の不確かさを考慮										
基本ケース										
材料物性の不確かさを考慮										
基本ケース										
材料物性の不確かさを考慮										
基本ケース										
材料物性の不確かさを考慮										
基本ケース										
材料物性の不確かさを考慮										
タービン建屋										

注：下線部は最大の等価繰返し回数を示す。

5. まとめ

今回の柏崎刈羽 6 号機における等価繰返し回数は、等価繰返し回数算出に影響するパラメータ（ピーク応力、固有周期、対象床面（質点）、地震動、減衰定数、設計疲労線図及び材料物性の不確かさ等）を保守的に設定した算出結果に基づき、一律に設定する値（ S_s : 200 回、 S_d : 200 回）に設定した。

個別に設定する等価繰返し回数についてもパラメータ（ピーク応力、固有周期、対象床面（質点）、減衰定数及び設計疲労線図）を疲労評価対象設備固有の条件を用いた上で算出し、設定した。

別紙1 等価繰返し回数の算出結果（基本ケース）

(1) 原子炉建屋の地震応答解析モデル

別表1 (1) - 1 原子炉建屋の地震応答解析モデル（応答スペクトルフロー）
NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
原子炉 建屋	49.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	38.200	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	31.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	23.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	18.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

別表 1 (1) - 1 原子炉建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
原子炉 建屋 (続き)	12.300	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	4.800	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-1.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-8.200	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									

別表 1 (1) - 2 原子炉建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
原子炉 建屋	49.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	38.200	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	31.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	23.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	18.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

別表1 (1) - 2 原子炉建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
原子炉 建屋 (続き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	4.800	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-1.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-8.200	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								

別表 1 (1) - 3 原子炉建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
原子炉 建屋	49.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	38.200	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	31.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	23.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	18.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

別表1 (1) - 3 原子炉建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
原子炉 建屋 (続き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	4.800	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-1.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-8.200	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								

(2) 大型機器系の地震応答解析モデル

別表1 (2) - 1. 1 大型機器系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)

せん断力

機器	T. M. S. L. (m)	Ss-3×1+1/3Sd-3×5+NC0	
		NS 方向	EW 方向
原子炉压力容器	26.013		
	22.653		
	20.494		
	18.716		
	16.506		
	12.270		
	9.439		
	6.056		
	4.950		
原子炉压力容器スカート	9.439		
	8.200		
原子炉遮蔽壁	21.200		
	19.138		
	18.440		
	18.100		
	16.850		
	15.600		
原子炉本体基礎	13.950		
	12.300		
	8.200		
	7.000		
	4.500		
	3.500		
	1.700		
	-0.180		
	-2.100		
	-3.100		
	-4.700		
-8.200			
原子炉格納容器 ドライウエル上鏡	27.940		
	25.365		
	24.400		
	23.500		

別表 1 (2) - 1. 2 大型機器系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
モーメント

機器	T. M. S. L. (m)	Ss-3×1+1/3Sd-3×5+NC0	
		NS 方向	EW 方向
原子炉压力容器	26.013		
	22.653		
	20.494		
	18.716		
	16.506		
	12.270		
	9.439		
	6.056		
	4.950		
原子炉压力容器スカート	9.439		
	8.200		
原子炉遮蔽壁	21.200		
	19.138		
	18.440		
	18.100		
	16.850		
	15.600		
	13.950		
原子炉本体基礎	12.300		
	8.200		
	7.000		
	4.500		
	3.500		
	1.700		
	-0.180		
	-2.100		
	-3.100		
	-4.700		
	-8.200		
原子炉格納容器 ドライウェル上鏡	27.940		
	25.365		
	24.400		
	23.500		

別表 1 (2) - 1. 3 大型機器系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)

軸力 UD 方向

機器	T. M. S. L. (m)	Ss-3×1+1/3Sd-3×5+NCO
原子炉圧力容器	26.013	
	22.653	
	20.494	
	18.716	
	16.506	
	12.270	
	9.439	
	6.056	
4.950		
原子炉圧力容器スカート	9.439	
	8.200	
原子炉遮蔽壁	21.200	
	19.138	
	18.440	
	18.100	
	16.850	
	15.600	
	13.950	
原子炉本体基礎	12.300	
	8.200	
	7.000	
	4.500	
	3.500	
	1.700	
	-0.180	
	-2.100	
	-3.100	
	-4.700	
	-8.200	
原子炉格納容器 ドライウェル上鏡	27.940	
	25.365	
	24.400	
	23.500	

別表1 (2) - 2. 1 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3S_d-3 \times 5 + NCO$	部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3S_d-3 \times 5 + NCO$	部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3S_d-3 \times 5 + NCO$
原子 炉遮 蔽壁	21.200	5.0		原子 炉遮 蔽壁	15.600	5.0		原子 炉本 体基 礎	4.500	5.0	
		4.0				4.0				4.0	
		3.0				3.0				3.0	
		2.5				2.5				2.5	
		2.0				2.0				2.0	
		1.5				1.5				1.5	
		1.0				1.0				1.0	
		0.5				0.5				0.5	
	19.138	5.0			5.0	5.0					
		4.0			4.0	4.0					
		3.0			3.0	3.0					
		2.5			2.5	2.5					
		2.0			2.0	2.0					
		1.5			1.5	1.5					
		1.0			1.0	1.0					
		0.5			0.5	0.5					
	18.440	5.0		5.0	5.0						
		4.0		4.0	4.0						
		3.0		3.0	3.0						
		2.5		2.5	2.5						
		2.0		2.0	2.0						
		1.5		1.5	1.5						
		1.0		1.0	1.0						
		0.5		0.5	0.5						
	18.100	5.0		5.0	5.0						
		4.0		4.0	4.0						
		3.0		3.0	3.0						
		2.5		2.5	2.5						
		2.0		2.0	2.0						
		1.5		1.5	1.5						
		1.0		1.0	1.0						
		0.5		0.5	0.5						
	16.850	5.0		5.0	5.0						
		4.0		4.0	4.0						
		3.0		3.0	3.0						
		2.5		2.5	2.5						
2.0		2.0	2.0								
1.5		1.5	1.5								
1.0		1.0	1.0								
0.5		0.5	0.5								

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から、 S_s-3 系による地震動を代表して記載。)

別表 1 (2) - 2. 1 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $\frac{1}{3}S_d-3 \times \frac{1}{5}$ +NCO	部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $\frac{1}{3}S_d-3 \times \frac{1}{5}$ +NCO	部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $\frac{1}{3}S_d-3 \times \frac{1}{5}$ +NCO
原子 炉本 体基 礎 (続 き)	-3.100	5.0		原子 炉圧 力 容 器	18.716	5.0		原子 炉圧 力 容 器	4.950	5.0	
		4.0				4.0				4.0	
		3.0				3.0				3.0	
		2.5				2.5				2.5	
		2.0				2.0				2.0	
		1.5				1.5				1.5	
		1.0				1.0				1.0	
	-4.700	5.0			5.0	5.0					
		4.0			4.0	4.0					
		3.0			3.0	3.0					
		2.5			2.5	2.5					
		2.0			2.0	2.0					
		1.5			1.5	1.5					
		1.0			1.0	1.0					
原子 炉圧 力 容 器	26.013	5.0	12.270	5.0	25.365	5.0	27.940	5.0	25.365	5.0	25.365
		4.0		4.0		4.0		4.0			
		3.0		3.0		3.0		3.0			
		2.5		2.5		2.5		2.5			
		2.0		2.0		2.0		2.0			
		1.5		1.5		1.5		1.5			
		1.0		1.0		1.0		1.0			
	22.653	5.0	9.439	5.0	24.400	5.0	24.400	5.0	24.400	5.0	24.400
		4.0		4.0		4.0		4.0			
		3.0		3.0		3.0		3.0			
		2.5		2.5		2.5		2.5			
		2.0		2.0		2.0		2.0			
		1.5		1.5		1.5		1.5			
		1.0		1.0		1.0		1.0			
20.494	5.0	6.056	5.0	6.056	5.0	6.056	5.0	6.056	5.0	6.056	
	4.0		4.0		4.0		4.0				
	3.0		3.0		3.0		3.0				
	2.5		2.5		2.5		2.5				
	2.0		2.0		2.0		2.0				
	1.5		1.5		1.5		1.5				
	1.0		1.0		1.0		1.0				
0.5	0.5	0.5	0.5								

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から、 S_s-3 系による地震動を代表して記載。)

別表1 (2) - 2. 2 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $\frac{1}{3}S_d-3 \times$ $\frac{5}{5}$ +NCO	部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $\frac{1}{3}S_d-3$ $\times 5$ +NCO	部 位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $\frac{1}{3}S_d-3$ $\times 5$ +NCO
原子 炉遮 蔽壁	21.200	5.0		原子 炉遮 蔽壁	15.600	5.0		原 子 炉 本 体 基 礎	4.500	5.0	
		4.0				4.0				4.0	
		3.0				3.0				3.0	
		2.5				2.5				2.5	
		2.0				2.0				2.0	
		1.5				1.5				1.5	
		1.0				1.0				1.0	
		0.5				0.5				0.5	
	19.138	5.0			5.0	5.0					
		4.0			4.0	4.0					
		3.0			3.0	3.0					
		2.5			2.5	2.5					
		2.0			2.0	2.0					
		1.5			1.5	1.5					
		1.0			1.0	1.0					
		0.5			0.5	0.5					
	18.440	5.0		5.0	5.0						
		4.0		4.0	4.0						
		3.0		3.0	3.0						
		2.5		2.5	2.5						
		2.0		2.0	2.0						
		1.5		1.5	1.5						
		1.0		1.0	1.0						
		0.5		0.5	0.5						
	18.100	5.0		5.0	5.0						
		4.0		4.0	4.0						
		3.0		3.0	3.0						
		2.5		2.5	2.5						
		2.0		2.0	2.0						
		1.5		1.5	1.5						
		1.0		1.0	1.0						
		0.5		0.5	0.5						
	16.850	5.0		5.0	5.0						
		4.0		4.0	4.0						
		3.0		3.0	3.0						
		2.5		2.5	2.5						
2.0		2.0	2.0								
1.5		1.5	1.5								
1.0		1.0	1.0								
0.5		0.5	0.5								

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から、 S_s-3 系による地震動を代表して記載。)

別表1 (2) - 2. 2 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $1/3S_d-3$ $\times 5$ +NCO	部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $1/3S_d-3$ $\times 5$ +NCO	部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $1/3S_d-3$ $\times 5$ +NCO
	-4.700	5.0 4.0 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5			16.506	5.0 4.0 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5			27.940	5.0 4.0 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5	
原子炉圧力容器	26.013	5.0 4.0 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5		原子炉圧力容器	12.270	5.0 4.0 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5		原子炉圧力容器 ドライウエル 上鏡	25.365	5.0 4.0 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5	
	22.653	5.0 4.0 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5			9.439	5.0 4.0 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5			24.400	5.0 4.0 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5	
	20.494	5.0 4.0 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5			6.056	5.0 4.0 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5					

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から、 S_s-3 系による地震動を代表して記載。)

別表 1 (2) - 2. 3 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3 S_d-3 \times 5 + NCO$	部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3 S_d-3 \times 5 + NCO$	部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3 S_d-3 \times 5 + NCO$
原子 炉遮 蔽壁	21.200	5.0		原子 炉遮 蔽壁	15.600	5.0		原子 炉本 体基 礎	4.500	5.0	
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	19.138	5.0			13.950	5.0			3.500	5.0	
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	18.440	5.0		12.300	5.0	1.700		5.0			
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	18.100	5.0		8.200	5.0	-0.180		5.0			
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	16.850	5.0		7.000	5.0	-2.100		5.0			
		4.0									
		3.0									
		2.5									
2.0											
1.5											
1.0											
0.5											

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から、 S_s-3 系による地震動を代表して記載。)

別表 1 (2) - 2. 3 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)

UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3S_d-3 \times 5 + NCO$	部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3S_d-3 \times 5 + NCO$	部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3S_d-3 \times 5 + NCO$
4.0	4.0	4.0									
3.0	3.0	3.0									
2.5	2.5	2.5									
2.0	2.0	2.0									
1.5	1.5	1.5									
1.0	1.0	1.0									
0.5	0.5	0.5									
-4.700	5.0	5.0	5.0								
	4.0	4.0	4.0								
	3.0	3.0	3.0								
	2.5	2.5	2.5								
	2.0	2.0	2.0								
	1.5	1.5	1.5								
	1.0	1.0	1.0								
	0.5	0.5	0.5								
原子炉圧力容器	26.013	5.0	12.270	5.0	25.365	5.0	原子炉圧力容器 ドライウエル上鏡	25.365	5.0	24.400	5.0
		4.0		4.0		4.0					
		3.0		3.0		3.0					
		2.5		2.5		2.5					
		2.0		2.0		2.0					
		1.5		1.5		1.5					
		1.0		1.0		1.0					
		0.5		0.5		0.5					
	22.653	5.0	9.439	5.0	24.400	5.0					
		4.0		4.0		4.0					
		3.0		3.0		3.0					
		2.5		2.5		2.5					
		2.0		2.0		2.0					
		1.5		1.5		1.5					
		1.0		1.0		1.0					
		0.5		0.5		0.5					
20.494	5.0	6.056	5.0		5.0						
	4.0		4.0		4.0						
	3.0		3.0		3.0						
	2.5		2.5		2.5						
	2.0		2.0		2.0						
	1.5		1.5		1.5						
	1.0		1.0		1.0						
	0.5		0.5		0.5						

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から、 S_s-3 系による地震動を代表して記載。)

(3) 炉内構造物系の地震応答解析モデル

別表1 (3) - 1. 1 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
せん断力 NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	$Ss-3 \times 1 + 1/3Sd-3$ $\times 5 + NCO$	部位	T. M. S. L. (m)	$Ss-3 \times 1 + 1/3Sd-3$ $\times 5 + NCO$		
燃料 集合体	14.379		炉心 シュラウド	19.472			
	13.676			18.716			
	12.973			17.179			
	12.270			16.506			
	11.567			15.641			
	10.864			15.266			
	10.161			14.379			
制御棒案内管	10.161			13.676			
	9.439			12.973			
	8.413			12.270			
	7.388			11.567			
	6.795			10.864			
	6.347			10.161			
制御棒駆動機 構 ハウジング (内側)	6.347			9.439		原子炉冷却材 再循環ポンプ	6.253
	5.819			8.413			5.376
	5.069			7.388			4.523
	4.216			6.795			3.671
	3.363						
	2.509						
	1.655						
	0.937						
0.258							
制御棒駆動機 構 ハウジング (外側)	5.819						
	5.069						
	4.216						
	3.363						
	2.509						
	1.655						
	0.937						
	0.258						

別表1 (3) - 1. 2 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
せん断力 EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	Ss-3×1+ 1/3Sd-3×5 +NCO	部位	T. M. S. L. (m)	Ss-3×1+ 1/3Sd-3×5 +NCO		
燃料 集合体	14.379		炉心 シュラウド	19.472			
	13.676			18.716			
	12.973			17.179			
	12.270			16.506			
	11.567			15.641			
	10.864			15.266			
	10.161			14.379			
制御棒案内管	10.161			13.676			
	9.439			12.973			
	8.413			12.270			
	7.388			11.567			
	6.795			10.864			
	6.347			10.161			
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	6.347			9.439		原子炉冷却材 再循環ポンプ	6.253
	5.819			8.413			5.376
	5.069			7.388			4.523
	4.216			6.795			3.671
	3.363						
	2.509						
	1.655						
	0.937						
0.258							
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	5.819						
	5.069						
	4.216						
	3.363						
	2.509						
	1.655						
	0.937						
0.258							

別表 1 (3) - 1. 3 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
モーメント NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	$S_s \times 1 + 1/3S_d \times 5 + NCO^{**}$	部位	T. M. S. L. (m)	$S_s \times 1 + 1/3S_d \times 5 + NCO^{**}$	部位	T. M. S. L. (m)	$S_s \times 1 + 1/3S_d \times 5 + NCO^{**}$		
燃料 集合体	14.379		制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (外側)	5.819		炉心シ ュラウ ド	7.388			
	13.676			5.069			6.795			
	12.973			4.216		原子炉 冷却材 再循環 ポンプ	6.253			
	12.270			3.363			5.376			
	11.567			2.509			4.523			
	10.864			1.655			3.671			
	10.161			0.937						
	0.258									
制御棒 案内管	10.161			炉心シ ュラウ ド		19.472				
	9.439					18.716				
	8.413					17.179				
	7.388					16.506				
	6.795					15.641				
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (内側)	6.347					15.266				
	6.347			14.379						
	5.819			13.676						
	5.069			12.973						
	4.216			12.270						
	3.363			11.567						
	2.509			10.864						
	1.655			10.161						
	0.937			9.439						
0.258			8.413							

※ 「 $S_s - 1 \times 1 + 1/3S_d - 1 \times 5 + NCO$ 」 ~ 「 $S_s - 8 \times 1 + 1/3S_d - 3 \times 5 + NCO$ 」のうち最大となるケースを記載。

別表 1 (3) - 1. 4 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
モーメント EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	Ss-3×1+ 1/3Sd-3× 5+NCO	部位	T. M. S. L. (m)	Ss-3×1+ 1/3Sd-3× 5+NCO	部位	T. M. S. L. (m)	Ss-3×1+ 1/3Sd-3×5 +NCO	
燃料 集合体	14.439		制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (外側)	5.819		炉心シ ュラウ ド	7.388		
	13.676			5.069			6.795		
	12.973			4.216		原子炉 冷却材 再循環 ポンプ	6.253		
	12.270			3.363			5.376		
	11.567			2.509			4.523		
	10.864			1.655			3.671		
	10.161			0.937					
10.161	0.258								
制御棒 案内管	9.439			炉心シ ュラウ ド		19.472			
	8.413					18.716			
	7.388					17.179			
	6.795					16.506			
	6.347					15.641			
	6.347					15.266			
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (内側)	5.819					14.379			
	5.069					13.676			
	4.216					12.973			
	3.363					12.270			
	2.509					11.567			
	1.655					10.864			
	0.937					10.161			
	0.937		9.439						
	0.258		8.413						

別表 1 (3) - 1. 5 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)

軸力 UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	Ss-3×1+ 1/3Sd-3×5+ NCO	部位	T. M. S. L. (m)	Ss-3×1+ 1/3Sd-3×5+ NCO
制御棒案内管	10.161		炉心シュラウド	19.472	
	9.439			18.716	
	8.413			17.179	
	7.388			16.506	
	6.795			15.641	
	6.347			15.266	
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	6.347			14.379	
	5.819			13.676	
	5.069			12.973	
	4.216			12.270	
	3.363			11.567	
	2.509			10.864	
	1.655			10.161	
	0.937			9.439	
	0.258			8.413	
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	5.819			7.388	
	5.069			6.795	
	4.216			5.886	
	3.363				
	2.509				
	1.655				
	0.937				
	0.258				
原子炉冷却材 再循環ポンプ	6.253				
	5.376				
	4.523				
	3.671				

別表 1 (3) - 2. 1 炉内構造物系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)

部位	T. M. S. L. (m)	減衰定数 (%)	Ss-3×1+1/3Sd-3×5+NC0		
			NS	EW	UD
炉心シュラウド	14.379	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			
	10.161	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			
	9.439	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			
	8.413	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			
	7.388	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			
	6.795	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			

別表 1 (3) - 2. 1 炉内構造物系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)

部位	T. M. S. L. (m)	減衰定数 (%)	Ss-3×1+1/3Sd-3×5+NC0		
			NS	EW	UD
制御棒駆動機構 ハウジング (内 側)	5.069	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			
	1.655	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			
	0.258	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			
制御棒駆動機構 ハウジング (外 側)	5.819	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			
	1.655	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			
	0.258	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			

別表 1 (3) - 2. 1 炉内構造物系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)

部位	T. M. S. L. (m)	減衰定数 (%)	Ss-3×1+1/3Sd-3×5+NC0		
			NS	EW	UD
原子炉冷却材再 循環ポンプ	6.253	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			
	3.671	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
		0.5			

(炉内構造物系の地震応答解析モデルでの算出結果から、S s - 3系による地震動を代表して記載。)

(4) タービン建屋の地震応答解析モデル

別表1 (4) - 1 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
タービン 建屋	44.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	38.600	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	25.800	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
20.400	5.0									
	4.0									
	3.0									
	2.5									
	2.0									
	1.5									
	1.0									
	0.5									

別表 1 (4) - 1 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1	
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
タービン 建屋 (続 き)	12.300	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	4.900	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-1.100	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-5.100	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	蒸気タ ービン の基礎	18.350									5.0
											4.0
											3.0
											2.5
2.0											
1.5											
1.0											
0.5											

別表 1 (4) - 1 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
蒸気タービンの基礎 (続き)	10.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									

別表1 (4) - 2 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1×5 +NCO	+ 1/3Sd-2×5 +NCO	+ 1/3Sd-3×5 +NCO	+ 1/3Sd-4× 5 +NCO	+ 1/3Sd-5×5 +NCO	+ 1/3Sd-6×5 +NCO	+ 1/3Sd-7×5 +NCO	+ 1/3Sd-8×5 +NCO
タービ ン建屋	44.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	38.600	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	25.800	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	20.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

別表 1 (4) - 2 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1×5 +NCO	+ 1/3Sd-2×5 +NCO	+ 1/3Sd-3×5 +NCO	+ 1/3Sd-4× 5 +NCO	+ 1/3Sd-5×5 +NCO	+ 1/3Sd-6×5 +NCO	+ 1/3Sd-7×5 +NCO	+ 1/3Sd-8×5 +NCO
タービン建屋 (続き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	4.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-1.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
-5.100	5.0									
	4.0									
	3.0									
	2.5									
	2.0									
	1.5									
	1.0									
	0.5									
蒸気タービンの基礎	18.350	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								

別表1(4)-2 タービン建屋の地震応答解析モデル(応答スペクトルフロー) EW方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4× 5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8×5 +NCO
蒸気タービンの基礎 (続き)	10.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								

別表1 (4) - 3 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
タービン 建屋	44.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	38.600	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	25.800	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	20.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

別表1 (4) - 3 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
タービン建屋 (続き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	4.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-1.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
-5.100	5.0									
	4.0									
	3.0									
	2.5									
	2.0									
	1.5									
	1.0									
	0.5									
蒸気タービンの基礎	20.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								

別表1 (4) - 3 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
蒸気タービンの基礎 (続き)	12.300	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									

(5) コントロール建屋の地震応答解析モデル

別表1 (5) - 1 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
コントロール 建屋	24.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	17.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	6.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
1.000	5.0									
	4.0									
	3.0									
	2.5									
	2.0									
	1.5									
	1.0									
	0.5									

別表1 (5) - 1 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO
コント ロール 建屋 (続き)	-2.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
0.5										

別表 1 (5) - 2 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
コントロール 建屋	24.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	17.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	6.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	1.000	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

別表1 (5) - 2 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
コントロール 建屋 (続き)	-2.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									

別表1 (5) - 3 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
コントロール 建屋	24.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	17.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	6.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	1.000	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

別表1 (5) - 3 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
コント ロール 建 屋 (続き)	-2.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									

(6) 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル

別表1(6)-1 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
廃棄物 処理建 屋	44.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	36.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
20.400	5.0									
	4.0									
	3.0									
	2.5									
	2.0									
	1.5									
	1.0									
	0.5									

別表 1 (6) - 1 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
廃棄物 処理建 屋 (続 き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	6.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-1.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-6.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								

別表 1 (6) - 2 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
廃棄物 処理建 屋	44.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	36.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	20.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

別表 1 (6) - 2 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
廃棄物 処理建 屋 (続 き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
	0.5									
	6.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
	0.5									
	-1.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
	0.5									
-6.100	5.0									
	4.0									
	3.0									
	2.5									
	2.0									
	1.5									
	1.0									
0.5										

別表 1 (6) - 3 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
廃棄物 処理建 屋	44.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	36.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	20.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

別表 1 (6) - 3 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
UD 方向

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO
廃棄物 処理建 屋 (続 き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
	0.5									
	6.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
	0.5									
	-1.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
	0.5									
-6.100	5.0									
	4.0									
	3.0									
	2.5									
	2.0									
	1.5									
	1.0									
0.5										

別紙2 材料物性の不確かさ等を考慮する場合の条件

基本ケースの結果を踏まえ、等価繰返し回数が最大となる地震動、減衰定数に基づいて材料物性の不確かさ等の考慮を実施する。基本ケースでの結果として支配的な地震動であった「 $S_s - 3 \times 1$ 回 + $1/3 S_d - 3 \times 5$ 回 + NCO」とその回数が最大となった減衰定数を用いて算出条件を設定する。具体的には次頁以降の表の通りの条件で算出を行う。

また、算出を行うフローは基本ケースの結果より、応答スペクトルフローの回数が大きくなることから、時刻歴フロー及び応答スペクトルフローの両フローでの算出が可能な炉内構造物系及び大型機器系の地震応答解析モデルは、応答スペクトルフローにて検討を行う。

別表 2-1 算出条件 (原子炉建屋の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~6	別表 2-2 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯 (0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面	基本ケースと同じ
地震動	「 $S_s - 3 \times 1$ 回 + $1/3 S_d - 3 \times 5$ 回 + NCO」	基本ケースで最大となる地震動
減衰定数 (%)	0.5	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

別表 2-2 検討ケース (原子炉建屋の地震応答解析モデル)

検討ケース	コンクリート剛性	回転ばね定数	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	基本ケース (別紙 1 で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性 + σ , 地盤剛性 + σ)	実強度 + σ (46.0N/mm ²)	100%	標準地盤 + σ (新期砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	
③ケース 3 (建屋剛性 - σ , 地盤剛性 - σ)	実強度 - σ (40.2N/mm ²)	100%	標準地盤 - σ (新期砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	100%	標準地盤	
⑤ケース 5 (建屋剛性 - 2σ)	実強度 - 2σ (37.2N/mm ²)	100%	標準地盤	
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm ²)	50%	標準地盤	

別表 2-3 算出条件 (大型機器系の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~8	別表 2-4 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯(0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面 (質点)	基本ケースと同じ。
地震動	「S s - 3 × 1 回 + 1/3 S d - 3 × 5 回 + N C O」	基本ケースで最大となる地震動
減衰定数 (%)	0.5	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

別表 2-4 検討ケース (大型機器系の地震応答解析モデル)

検討ケース	コンクリート剛性			回転ばね定数	地盤剛性	原子炉本体基礎のスケルトン曲線の設定方法	備考
	原子炉建屋	原子炉本体基礎	ダイヤフラムフロア				
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤	折線近似	基本ケース (別紙 1 で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性 + σ , 地盤剛性 + σ)	実強度 + σ (46.0N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤 + σ (新期砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	折線近似	
③ケース 3 (建屋剛性 - σ , 地盤剛性 - σ)	実強度 - σ (40.2N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤 - σ (新期砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	折線近似	
④ケース 4 (建屋剛性 コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤	折線近似	
⑤ケース 5 (建屋剛性 - 2 σ)	実強度 - 2 σ (37.2N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤	折線近似	
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	50%	標準地盤	折線近似	
⑦ケース 7 (原子炉本体基礎 ダイヤフラムフロア 実強度)	実強度 (43.1N/mm ²)	実強度 (39.2N/mm ²)	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	折線近似	
⑧ケース 8 (原子炉本体基礎 スケルトン曲線 曲線包絡)	実強度 (43.1N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤	折線近似 (曲線近似を包絡)	

別表 2-5 算出条件 (炉内構造物系の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~8	別表 2-6 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯(0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面 (質点)	基本ケースと同じ
地震動	「S _s -3×1回+1/3S _d -3×5回+NCO」	基本ケースで最大となる地震動
減衰定数 (%)	0.5	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

別表 2-6 検討ケース (炉内構造物系の地震応答解析モデル)

検討ケース	コンクリート剛性			回転ばね定数	地盤剛性	原子炉本体基礎のスケルトン曲線の設定方法	備考
	原子炉建屋	原子炉本体基礎	ダイヤフラムフロア				
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤	折線近似	基本ケース (別紙 1 で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性+σ, 地盤剛性+σ)	実強度+σ (46.0N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤+σ (新期砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	折線近似	
③ケース 3 (建屋剛性-σ, 地盤剛性-σ)	実強度-σ (40.2N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤-σ (新期砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	折線近似	
④ケース 4 (建屋剛性 コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤	折線近似	
⑤ケース 5 (建屋剛性-2σ)	実強度-2σ (37.2N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤	折線近似	
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	50%	標準地盤	折線近似	
⑦ケース 7 (原子炉本体基礎 ダイヤフラムフロア 実強度)	実強度 (43.1N/mm ²)	実強度 (39.2N/mm ²)	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	折線近似	
⑧ケース 8 (原子炉本体基礎 スケルトン曲線 曲線包絡)	実強度 (43.1N/mm ²)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	100%	標準地盤	折線近似 (曲線近似を包絡)	

別表 2-7 算出条件 (タービン建屋の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~5	別表 2-8 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯(0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面	基本ケースと同じ
地震動	「S s - 3 × 1 回 + 1/3 S d - 3 × 5 回 + N C O」	基本ケースで最大となる地震動
減衰定数 (%)	0.5	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

別表 2-8 検討ケース (タービン建屋の地震応答解析モデル)

検討ケース	コンクリート剛性	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	標準地盤	基本ケース (別紙 1 で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性 + σ , 地盤剛性 + σ)	実強度 + σ (46.0N/mm ²)	標準地盤 + σ (新期砂層+13%, 古安田層 +25%, 西山層+10%)	
③ケース 3 (建屋剛性 - σ , 地盤剛性 - σ)	実強度 - σ (40.2N/mm ²)	標準地盤 - σ (新期砂層-13%, 古安田層- 25%, 西山層-10%)	
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	標準地盤	
⑤ケース 5 (建屋剛性 - 2 σ)	実強度 - 2 σ (37.2N/mm ²)	標準地盤	

別表 2-9 算出条件 (コントロール建屋の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~6	別表 2-10 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯(0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面	基本ケースと同じ
地震動	「S s - 3 × 1 回 + 1/3 S d - 3 × 5 回 + N C O」	基本ケースで最大となる地震動
減衰定数 (%)	0.5	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

別表 2-10 検討ケース (コントロール建屋の地震応答解析モデル)

検討ケース	コンクリート剛性	回転ばね定数	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	基本ケース (別紙 1 で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性 + σ , 地盤剛性 + σ)	実強度 + σ (46.0N/mm ²)	100%	標準地盤 + σ (新期砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	
③ケース 3 (建屋剛性 - σ , 地盤剛性 - σ)	実強度 - σ (40.2N/mm ²)	100%	標準地盤 - σ (新期砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	100%	標準地盤	
⑤ケース 5 (建屋剛性 - 2 σ)	実強度 - 2 σ (37.2N/mm ²)	100%	標準地盤	
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm ²)	50%	標準地盤	

別表 2-1 1 算出条件 (廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~5	別表 2-1 2 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯(0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面	基本ケースと同じ
地震動	「S s - 3 × 1 回 + 1/3 S d - 3 × 5 回 + N C O」	基本ケースで最大となる地震動
減衰定数 (%)	2.0	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

別表 2-1 2 検討ケース (廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル)

検討ケース	コンクリート剛性	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	標準地盤	基本ケース (別紙 1 で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性 + σ , 地盤剛性 + σ)	実強度 + σ (46.0N/mm ²)	標準地盤 + σ (新期砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	
③ケース 3 (建屋剛性 - σ , 地盤剛性 - σ)	実強度 - σ (40.2N/mm ²)	標準地盤 - σ (新期砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	標準地盤	
⑤ケース 5 (建屋剛性 - 2 σ)	実強度 - 2 σ (37.2N/mm ²)	標準地盤	

別紙3 等価繰返し回数の算出結果（材料物性の不確かさ等の考慮）

(1) 原子炉建屋の地震応答解析モデル

別表3 (1) 原子炉建屋の地震応答解析モデル（材料物性の不確かさ等の考慮）

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO						
				ケース1 基本 ケース	ケース2 建屋剛性 +σ 地盤剛性 +σ	ケース3 建屋剛性 -σ 地盤剛性 -σ	ケース4 建屋剛性 コア平均	ケース5 建屋剛性 -2σ	ケース6 回転ばね 低減	
原子炉 建屋	49.700	0.5	NS							
			EW							
			UD							
	38.200		NS							
			EW							
			UD							
	31.700		NS							
			EW							
			UD							
	23.500		NS							
			EW							
			UD							
	18.100		NS							
			EW							
			UD							
	12.300		NS							
			EW							
			UD							
	4.800		NS							
			EW							
			UD							
	-1.700		NS							
			EW							
			UD							
-8.200	NS									
	EW									
	UD									

(2) 大型機器連成系の地震応答解析モデル

別表3 (2) 大型機器連成系の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO							
				ケース1 (基本ケ ース)	ケース2 (建屋剛 性+σ 地盤剛 性+σ)	ケース3 (建屋剛 性-σ 地盤剛 性-σ)	ケース 4 建屋剛 性コア 平均	ケース5 (建屋剛 性-2 σ)	ケース6 (地盤回 転ばね 低減)	ケース7 (原子炉本体 基礎 ダイヤ フラムフロア 実強度)	ケース8 (原子炉本体 基礎 スケ ルトン曲線 曲線包絡)
原子炉 遮蔽壁	21.200	0.5	NS								
			EW								
			UD								
	19.138		NS								
			EW								
			UD								
	18.440		NS								
			EW								
			UD								
	18.100		NS								
			EW								
			UD								
16.850	NS										
	EW										
	UD										
15.600	NS										
	EW										
	UD										
13.950	NS										
	EW										
	UD										
原子炉 本体基 礎	12.300	NS									
		EW									
		UD									
	8.200	NS									
		EW									
		UD									
	7.000	NS									
		EW									
		UD									
	4.500	NS									
		EW									
		UD									
3.500	NS										
	EW										
	UD										
1.700	NS										
	EW										
	UD										
-0.180	NS										
	EW										
	UD										

別表3 (2) 大型機器連成系の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO															
				ケース1 (基本ケ ース)	ケース2 (建屋剛 性+σ 地盤剛 性+σ)	ケース3 (建屋剛 性-σ 地盤剛 性-σ)	ケース 4 建屋剛 性コア 平均	ケース5 (建屋剛 性-2 σ)	ケース6 (地盤回 転ばね 低減)	ケース7 (原子炉本体 基礎 ダイヤ フラムフロア 実強度)	ケース8 (原子炉本体 基礎 スケ ルトン曲線 曲線包絡)								
原子炉 本体基 礎(続 き)	-2.100	0.5	NS																
			EW																
			UD																
	-3.100		NS																
			EW																
			UD																
	-4.700		NS																
			EW																
			UD																
原子炉 圧力容 器	26.013	NS																	
		EW																	
		UD																	
	22.653	NS																	
		EW																	
		UD																	
	20.494	NS																	
		EW																	
		UD																	
	18.716	NS																	
		EW																	
		UD																	
	16.506	NS																	
		EW																	
		UD																	
	12.270	NS																	
		EW																	
		UD																	
9.439	NS																		
	EW																		
	UD																		
6.056	NS																		
	EW																		
	UD																		
4.950	NS																		
	EW																		
	UD																		

別表3 (2) 大型機器連成系の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO									
				ケース1 (基本ケ ース)	ケース2 (建屋剛 性+σ 地盤剛 性+σ)	ケース3 (建屋剛 性-σ 地盤剛 性-σ)	ケース 4 建屋剛 性コア 平均	ケース5 (建屋剛 性-2 σ)	ケース6 (地盤回 転ばね 低減)	ケース7 (原子炉本体 基礎 ダイヤ フラムフロア 実強度)	ケース8 (原子炉本体 基礎 スケ ルトン曲線 曲線包絡)		
原子炉 圧力容 器 ドライ ウェル 上鏡	27.940	0.5	NS										
			EW										
			UD										
	25.365		NS										
			EW										
			UD										
	24.400		NS										
			EW										
			UD										

(3) 炉内構造物系の地震応答解析モデル

別表3 (3) 炉内構造物系の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO							
				ケース1 (基本ケ ース)	ケース2 (建屋剛 性+σ 地盤剛 性+σ)	ケース3 (建屋剛 性-σ 地盤剛 性-σ)	ケー ス4 建屋 剛性 コア 平均	ケー ス 5 (建屋 剛性- 2σ)	ケー ス6 (地盤 回転 ばね 低減)	ケー ス7 (原子炉本体基 礎 ダイヤフ ラムフロア 実強度)	ケー ス8 (原子炉本体基 礎 スケルト ン曲線 曲線 包絡)
炉心シ ュラウ ド	14.379	0.5	NS								
			EW								
			UD								
	10.161		NS								
			EW								
			UD								
	9.439		NS								
			EW								
			UD								
	8.413		NS								
			EW								
			UD								
7.388	NS										
	EW										
	UD										
6.795	NS										
	EW										
	UD										
制御棒 駆動機 構ハウ ジング (内 側)	5.069	NS									
		EW									
		UD									
	1.655	NS									
		EW									
		UD									
0.258	NS										
	EW										
	UD										

別表 3 (3) 炉内構造物系の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO							
				ケース 1 (基本ケ ース)	ケース 2 (建屋剛 性+σ 地盤剛 性+σ)	ケース 3 (建屋剛 性-σ 地盤剛 性-σ)	ケー ス 4 建屋 剛性 コア 平均	ケー ス 5 (建屋 剛性- 2σ)	ケー ス 6 (地盤 回転 ばね 低減)	ケー ス 7 (原子炉本体基 礎 ダイヤフ ラムフロア 実強度)	ケー ス 8 (原子炉本体基 礎 スケルト ン曲線 曲線 包絡)
制御棒 駆動機 構ハウ ジング (外 側)	5.819	0.5	NS								
			EW								
			UD								
	1.655		NS								
			EW								
			UD								
	0.258		NS								
			EW								
			UD								
原子炉 冷却材 再循環 ポンプ	6.253	NS									
		EW									
		UD									
	3.671	NS									
		EW									
		UD									

(4) タービン建屋の地震応答解析モデル

別表3 (4) タービン建屋の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO (Ss-1 + 1/3Sd-1×5 + NCO)				
				ケース1 基本 ケース	ケース2 建屋剛性 +σ 地盤剛性 +σ	ケース3 建屋剛性 -σ 地盤剛性 -σ	ケース4 建屋剛性 コア平均	ケース5 建屋剛性 -2σ
タービン 建屋	44.300	0.5	NS					
			EW					
			UD					
	38.600		NS					
			EW					
			UD					
	30.900		NS					
			EW					
			UD					
	25.800		NS					
			EW					
			UD					
	20.400		NS					
			EW					
			UD					
12.300	NS							
	EW							
	UD							
4.900	NS							
	EW							
	UD							
-1.100	NS							
	EW							
	UD							
-5.100	NS							
	EW							
	UD							
蒸気ター ビンの基 礎	18.350	0.5	NS					
	20.400		EW					
	10.700		UD					
	12.300		NS					

(5) コントロール建屋の地震応答解析モデル

別表3 (5) コントロール建屋の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

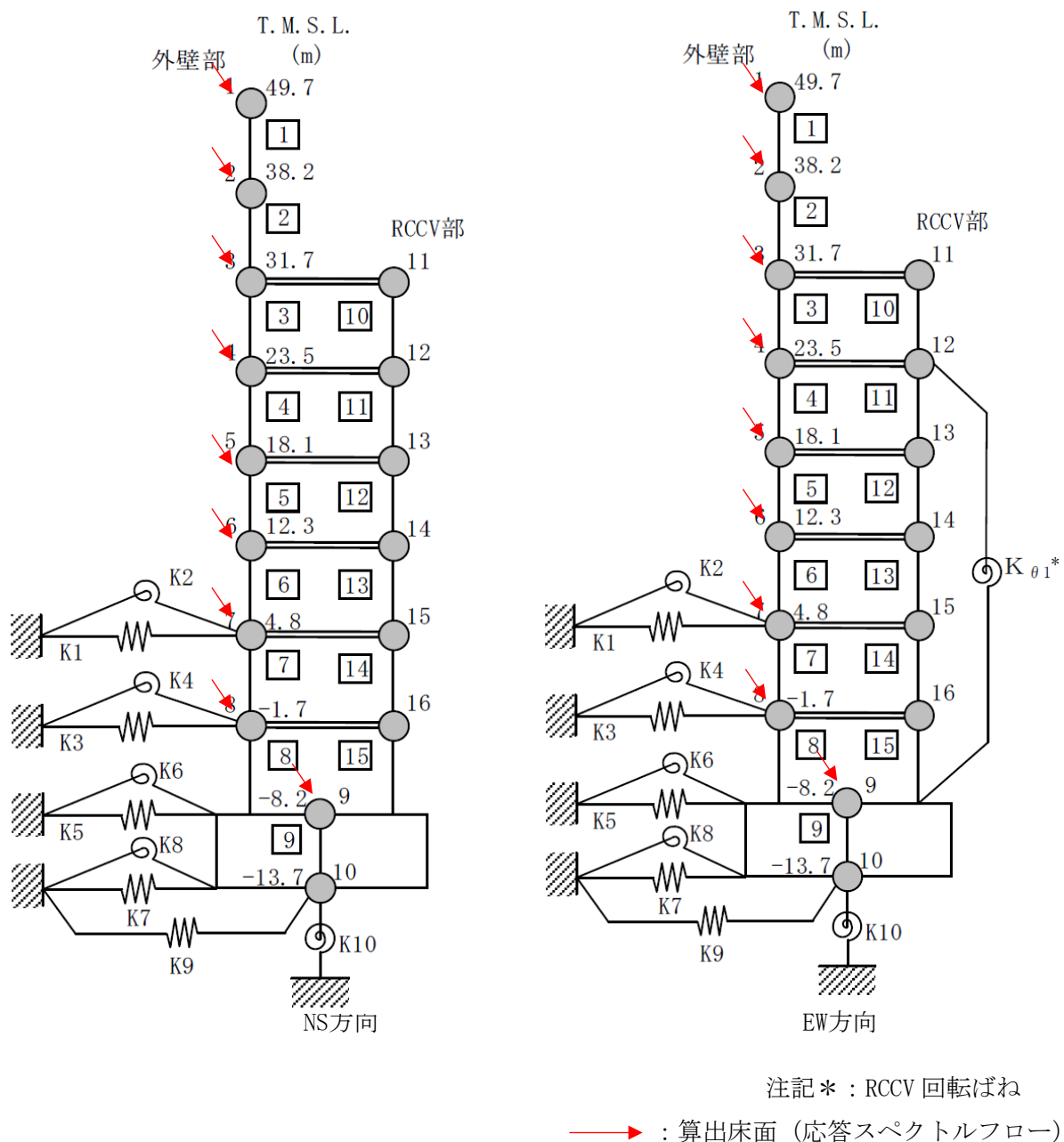
部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO					
				ケース1 基本 ケース	ケース2 建屋剛性 +σ 地盤剛性 +σ	ケース3 建屋剛性 -σ 地盤剛性 -σ	ケース4 建屋剛性 コア平均	ケース5 建屋剛性 -2σ	ケース6 回転ばね 低減
コント ロール 建屋	24.100	0.5	NS						
			EW						
			UD						
	17.300		NS						
			EW						
			UD						
	12.300		NS						
			EW						
			UD						
	6.500		NS						
			EW						
			UD						
	1.000		NS						
			EW						
			UD						
	-2.700		NS						
EW									
UD									

(6) 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル

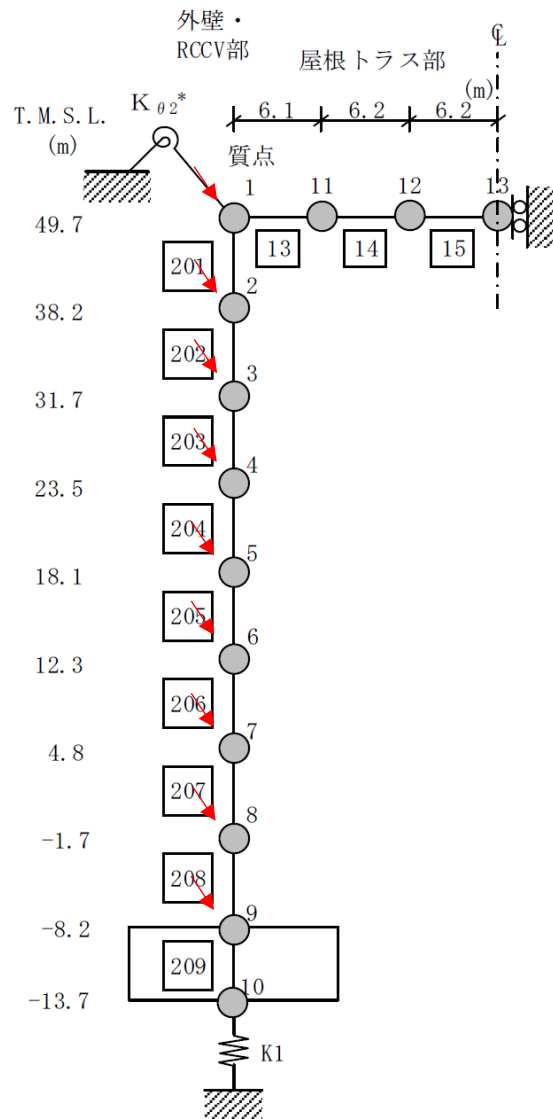
別表3(6) 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

部位	T. M. S. L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO				
				ケース1 基本 ケース	ケース2 建屋剛性 +σ 地盤剛性 +σ	ケース3 建屋剛性 -σ 地盤剛性 -σ	ケース4 建屋剛性 コア平均	ケース5 建屋剛性 -2σ
廃棄物 処理 建屋	44.300	2.0	NS					
			EW					
			UD					
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
36.700		NS						
		EW						
		UD						
30.900		NS						
		EW						
		UD						
30.400		NS						
		EW						
		UD						
20.400		NS						
		EW						
		UD						
12.300		NS						
		EW						
		UD						
6.500		NS						
		EW						
		UD						
-1.100		NS						
		EW						
		UD						
-6.100		NS						
		EW						
		UD						

別紙4 等価繰返し回数の算出位置

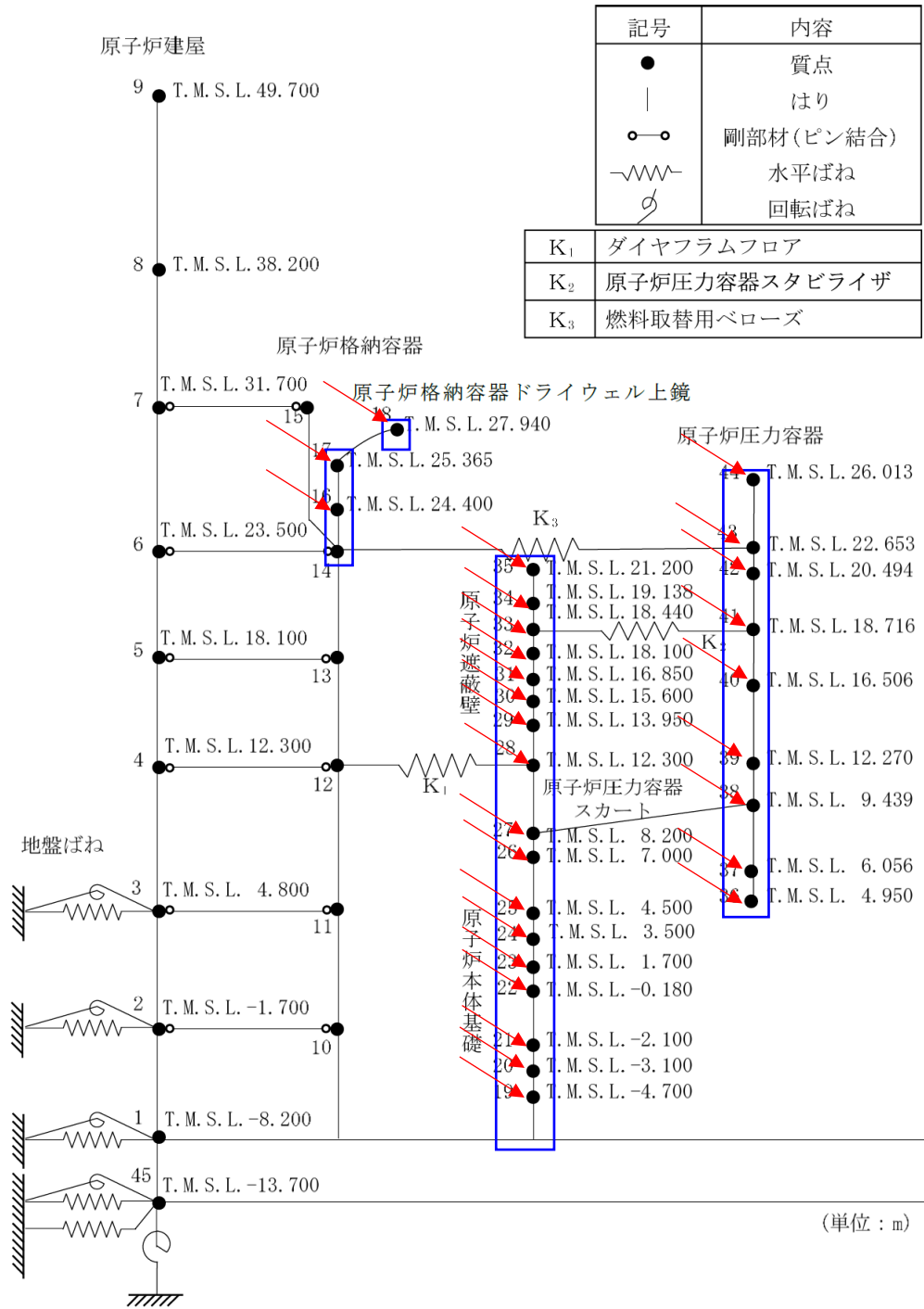


別図4 (1) - 1 原子炉建屋地震の応答解析モデルでの算出位置 (水平方向)



注記* : 屋根トラス端部回転拘束ばね
 —→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

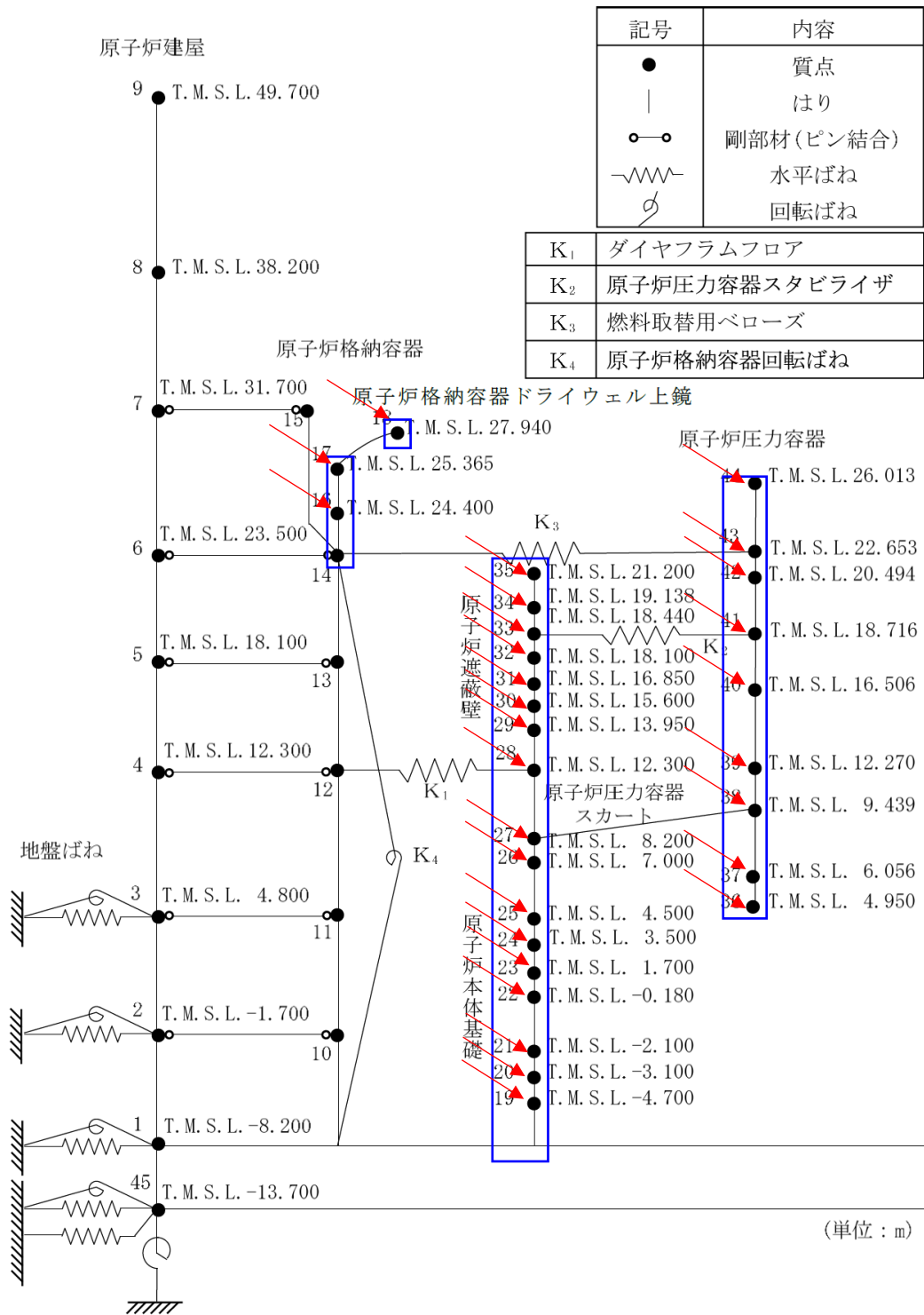
別図4 (1) - 2 原子炉建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (鉛直方向)



→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

□ : 算出質点 (時刻歴フロー)

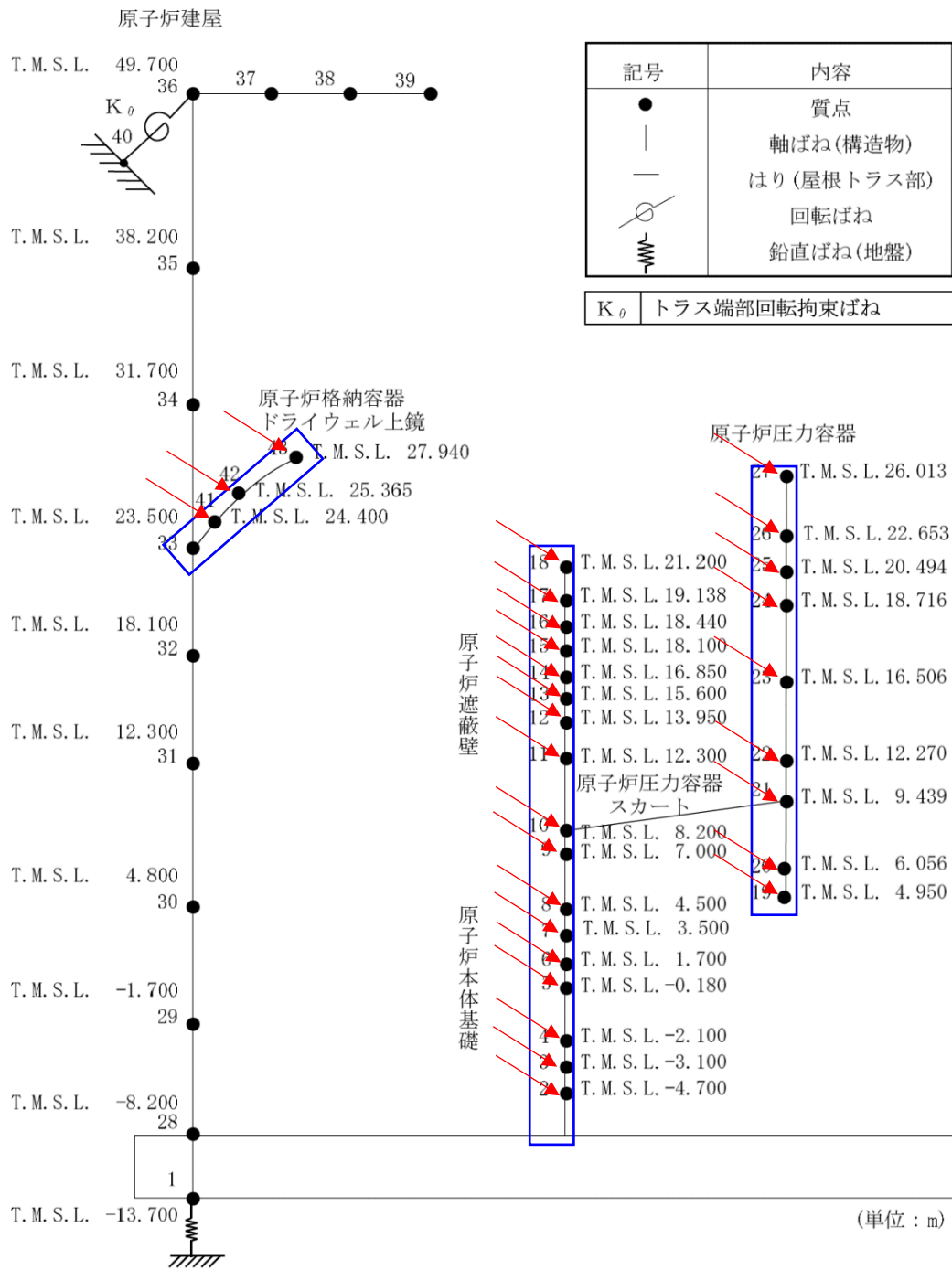
別図 4 (2) - 1 大型機器系の地震応答解析モデルでの算出位置 (NS 方向)



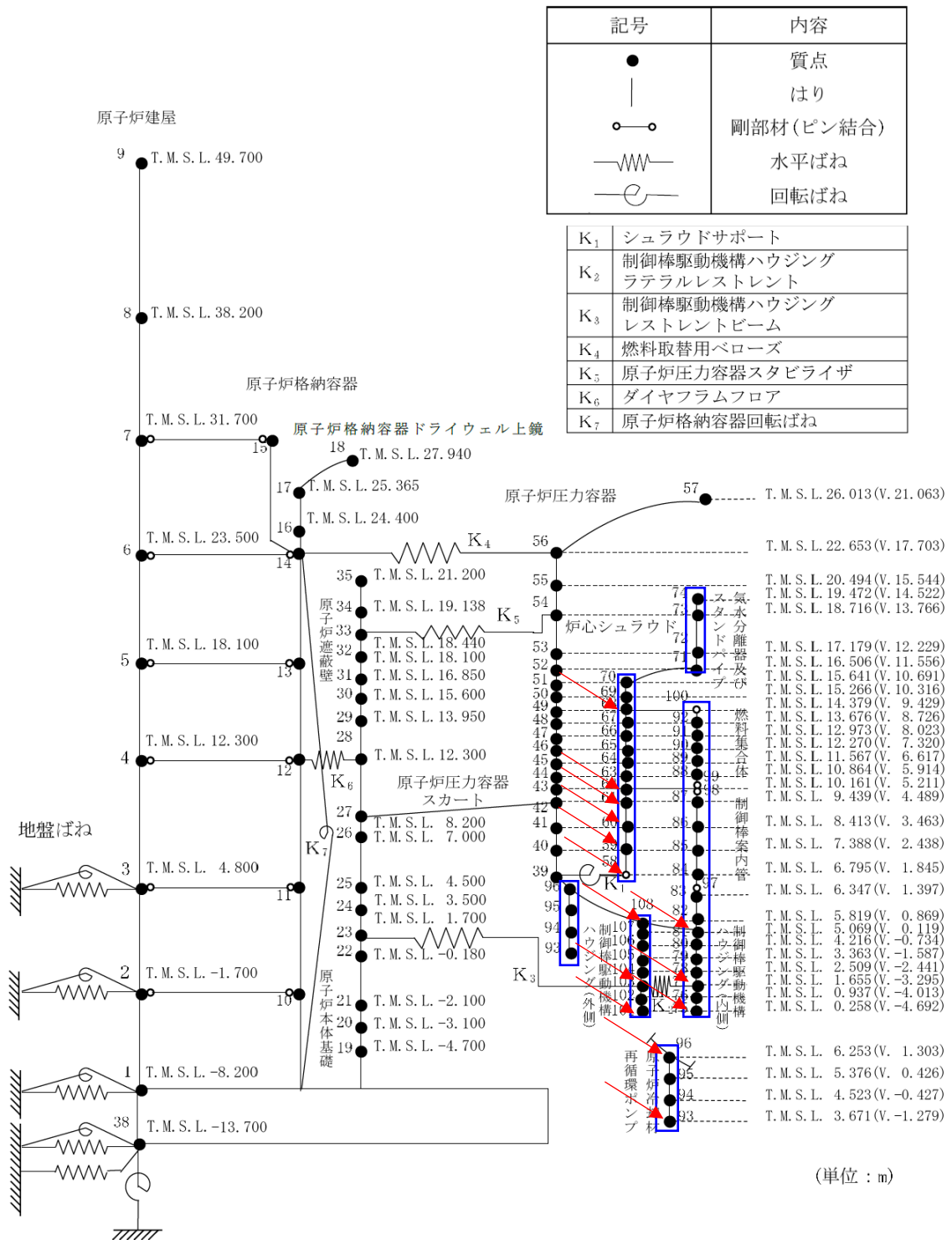
→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

□ : 算出質点 (時刻歴フロー)

別図 4 (2) - 2 大型機器系の地震応答解析モデルでの算出位置 (EW 方向)



別図4 (2) - 3 大型機器系の地震応答解析モデルでの算出位置 (鉛直方向)

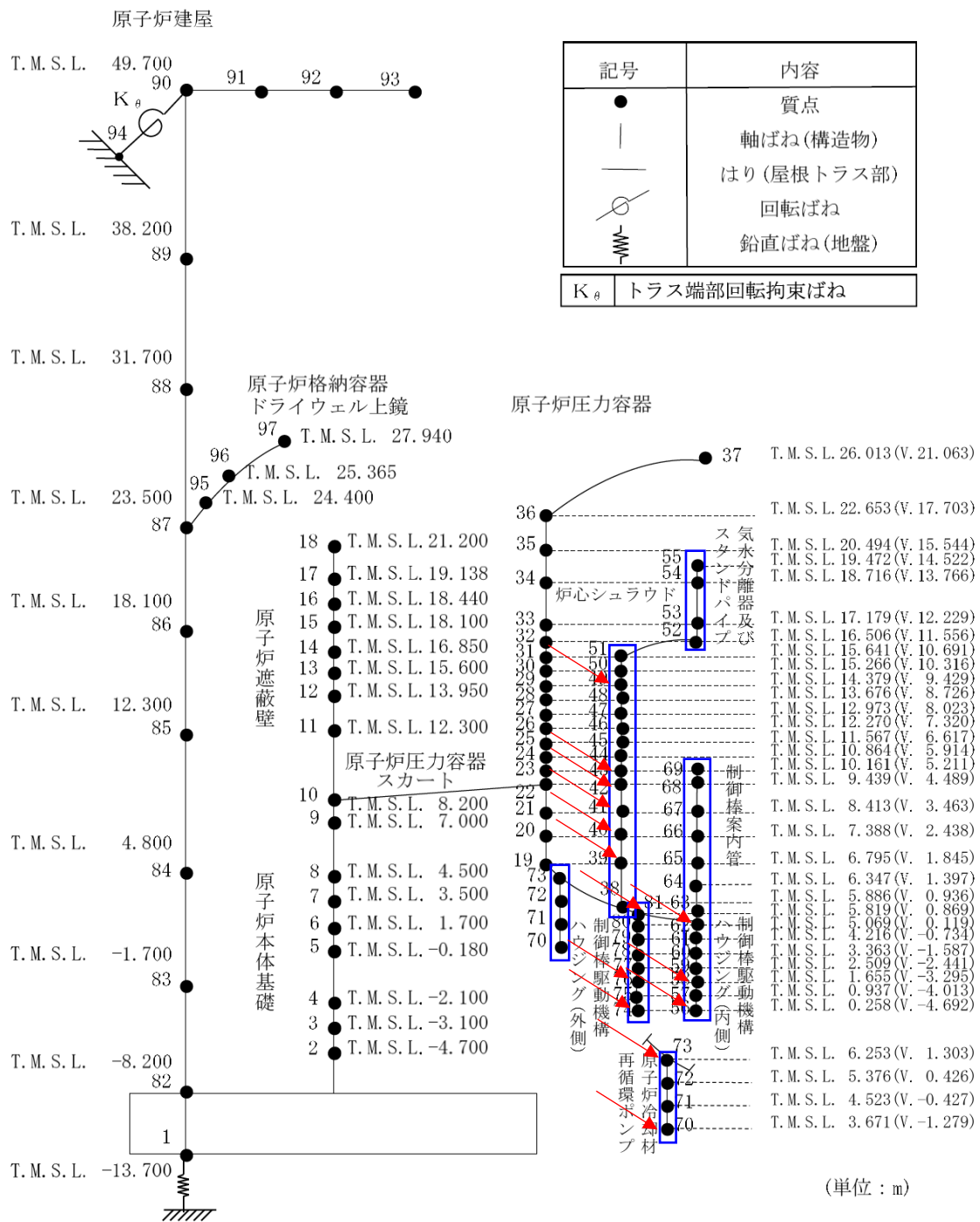


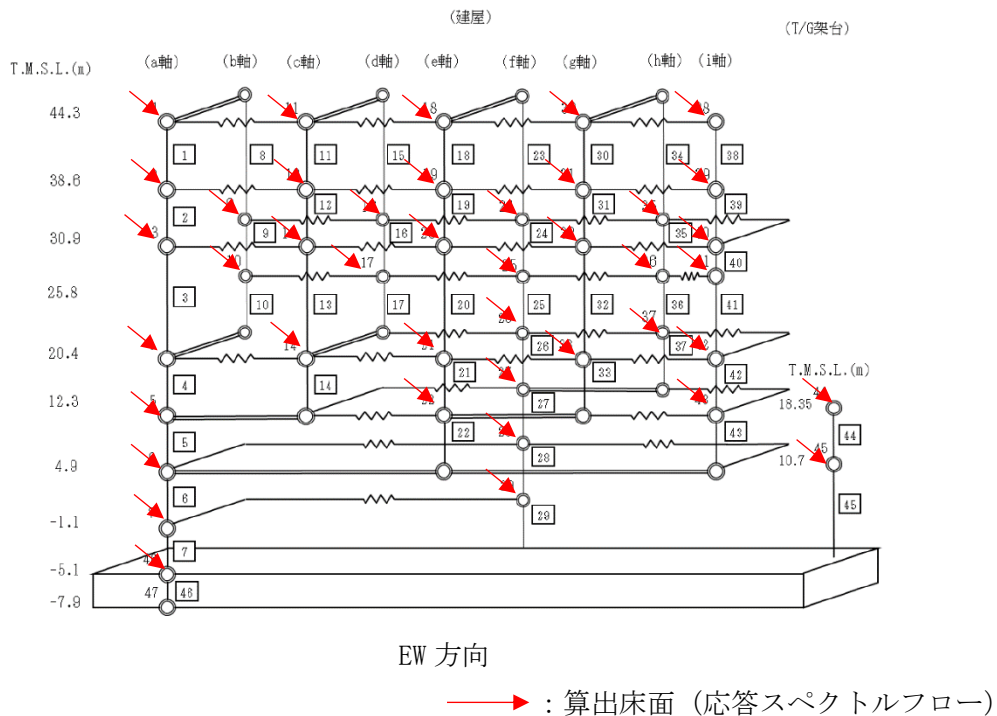
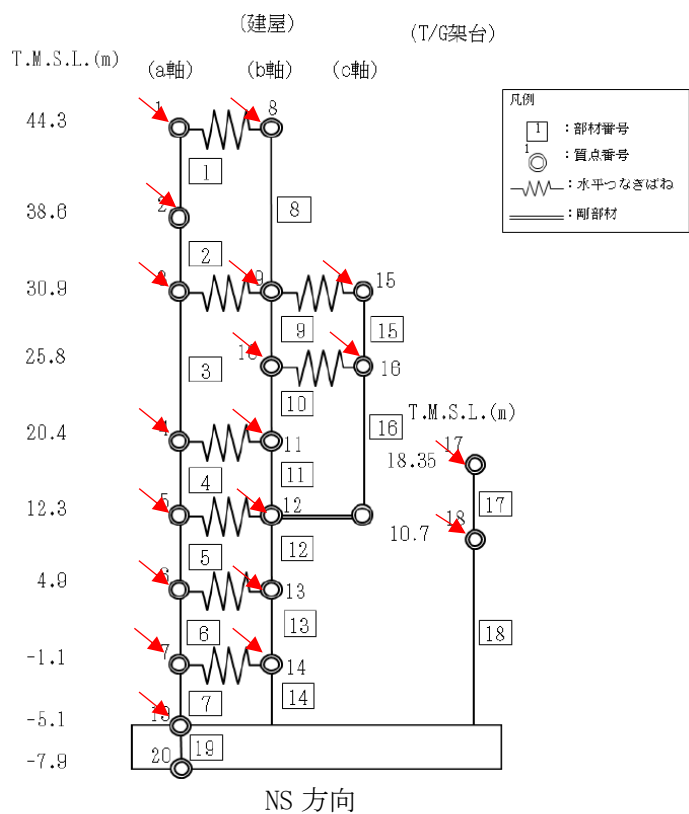
(単位 : m)

→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

□ : 算出質点 (時刻歴フロー)

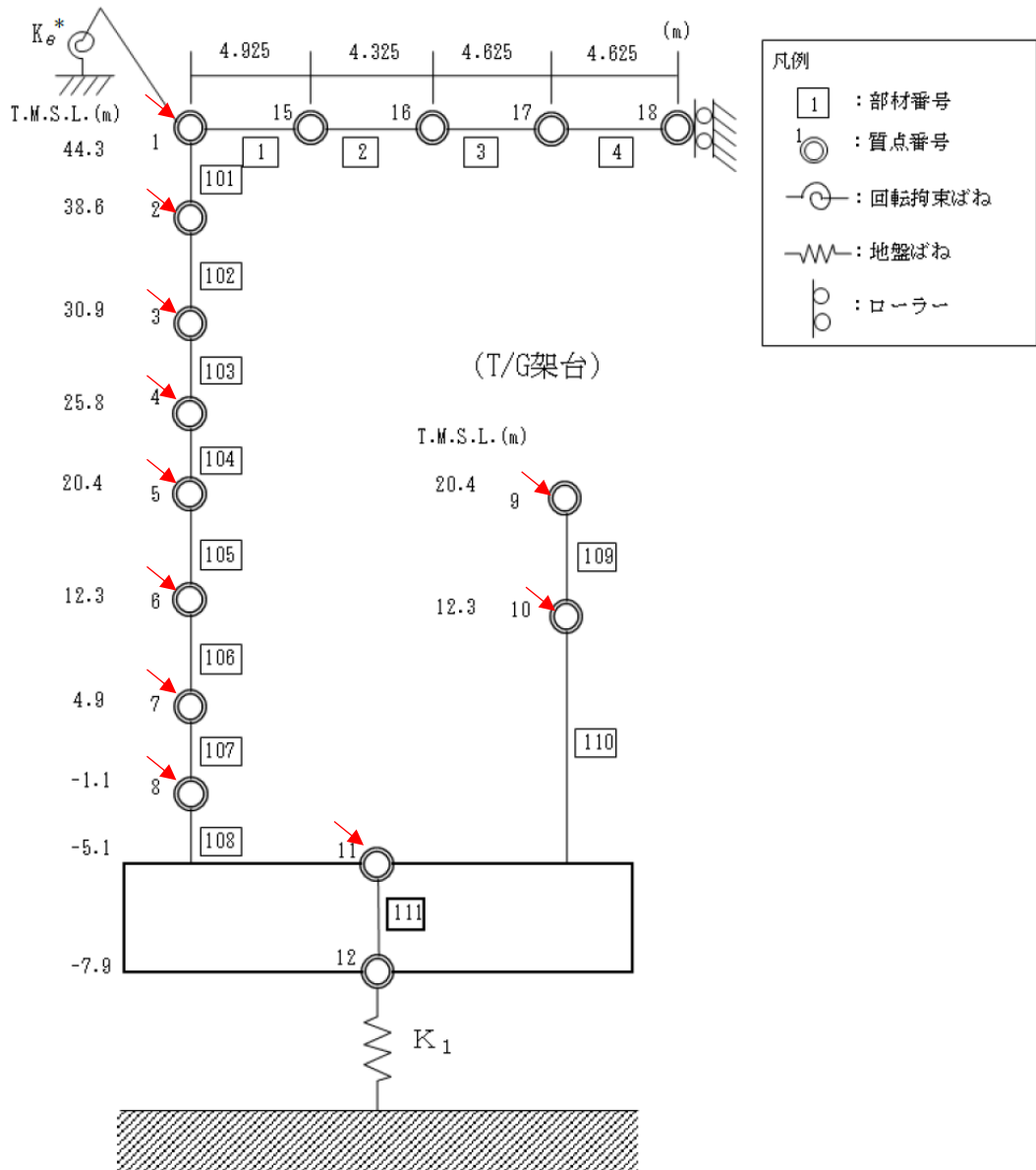
別図 4 (3) - 2 炉内構造物系の地震応答解析モデルでの算出位置 (EW 方向)





別図4 (4) - 1 タービン建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (水平方向)

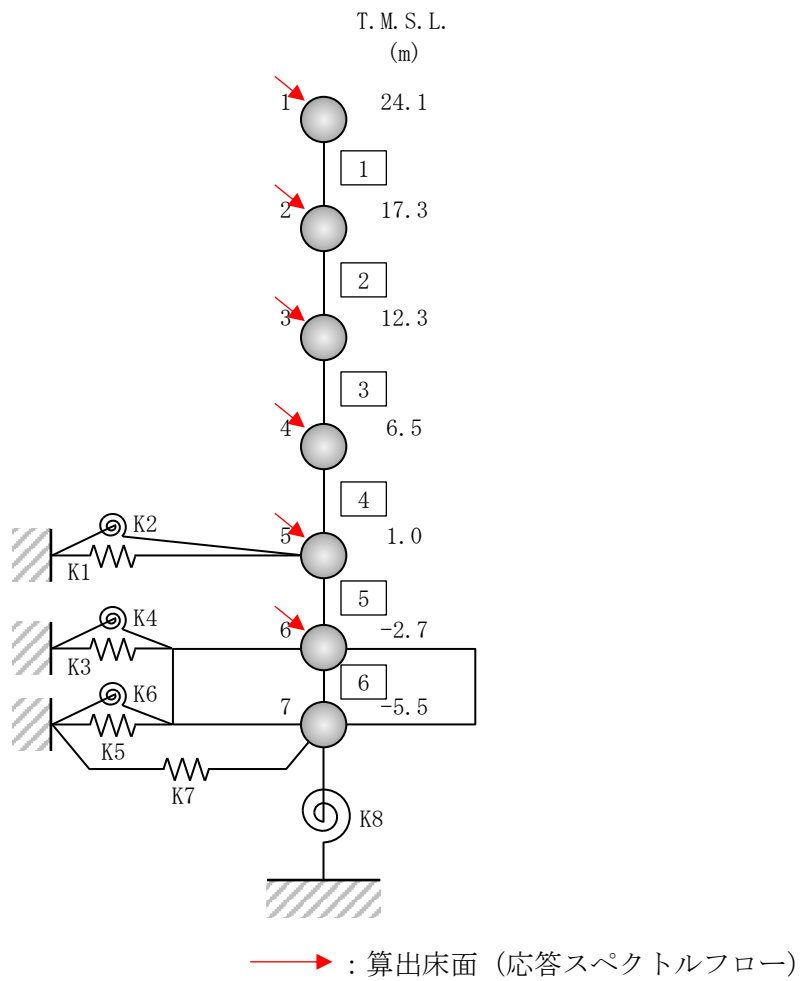
(建屋)



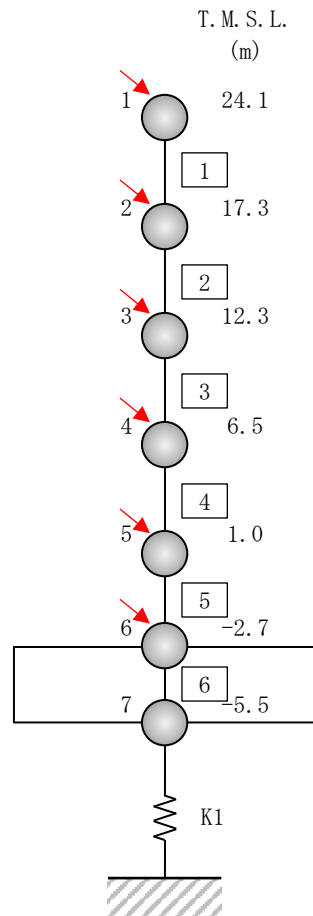
注記* : 屋根トラス端部回転拘束ばね

→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

別図4 (4) - 2 タービン建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (鉛直方向)

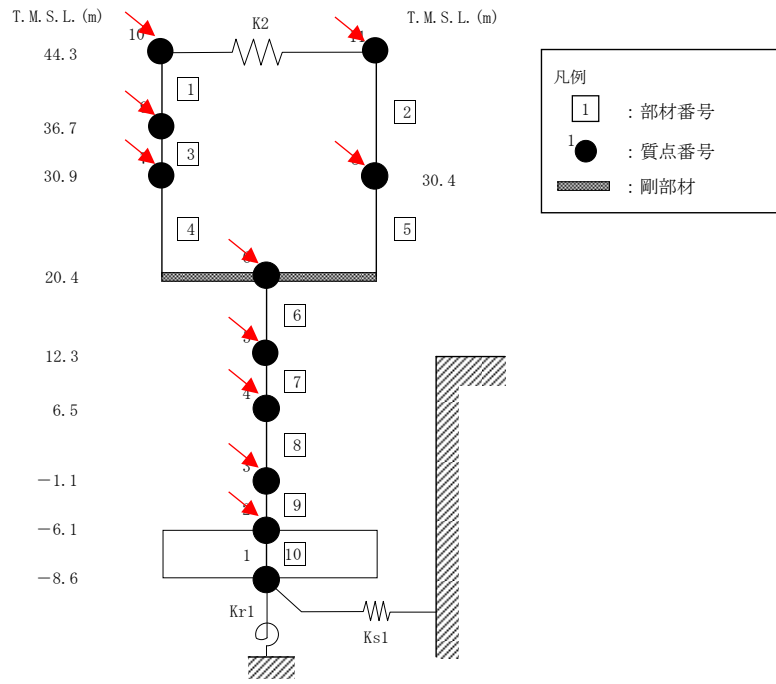


別図 4 (5) - 1 コントロール建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (水平方向)

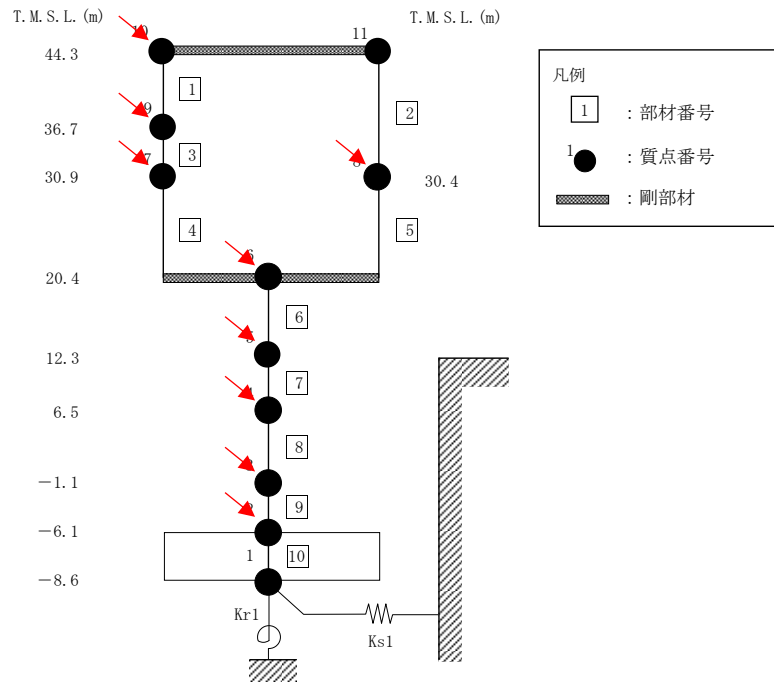


→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

別図 4 (5) - 2 コントロール建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (鉛直方向)



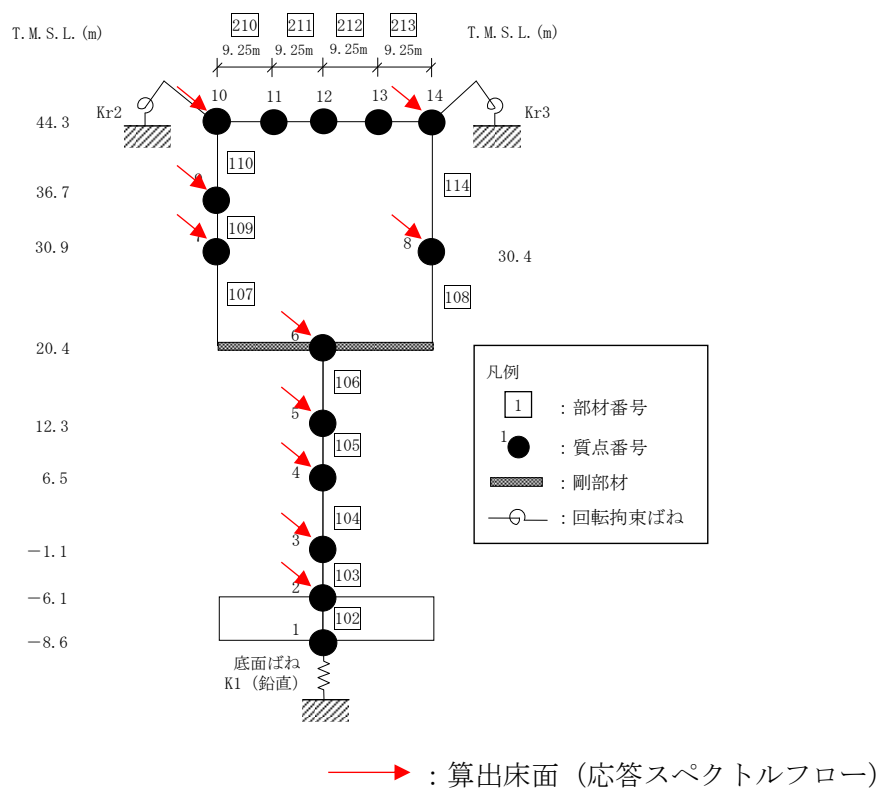
NS 方向



EW 方向

→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

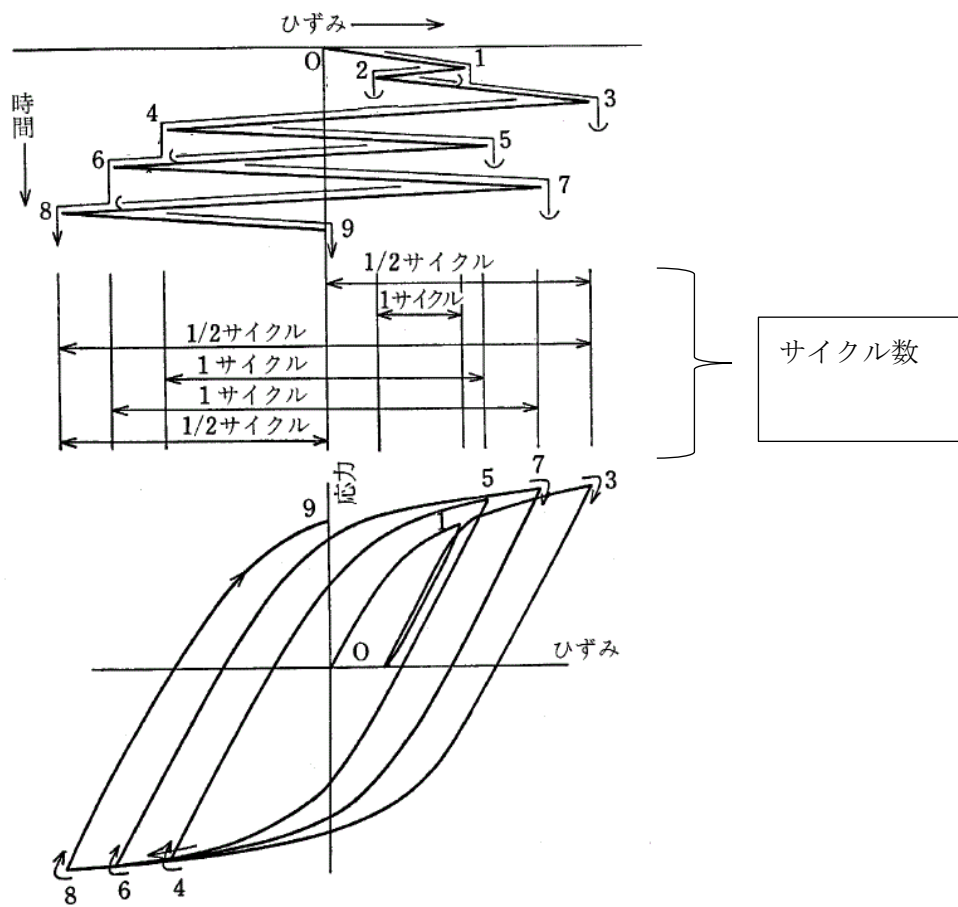
別図 4 (6) - 1 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (水平方向)



別図 4 (6) - 2 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (鉛直方向)

別紙5 ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方

柏崎刈羽 6 号機のピーク応力法における各ピーク点におけるサイクル数についてはレインフロー法を用いて求める。別図5に示す通り、実際の材料挙動に着目し、片振りとなるピーク点については 0.5, 両振りとなるピーク点については 1 と割り当てている。なお、このサイクル数のカウント方法は疲労設計において、材料の応力-ひずみ挙動との対応が良いことから、一般的に用いられている手法である。



別図5 レインフロー法の概要

また、本カウント法に関する文献は以下がある。

- ・遠藤達雄ら他, 「Rain Flow Method」の提案とその応用, 九州工業大学研究報告(工学) No. 28, 1974

別紙6 等価繰返し回数算出プログラムについて

1. はじめに

今回工認における等価繰返し回数算出において使用した計算機プログラム（解析コード）について説明する。

柏崎刈羽6号機に等価繰返し回数の算出において地震応答解析モデルごとに2つの算出プログラムを使用しており、使用状況を別表6-1に記載する。

別表6-1 柏崎刈羽6号機の地震応答解析モデル別の算出プログラム

算出に用いた算出プログラム	地震応答解析モデル
HERO	原子炉建屋の地震応答解析モデル 大型機器系の地震応答解析モデル 炉内構造物系の地震応答解析モデル コントロール建屋の地震応答解析モデル 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル
PLTCOM2	タービン建屋の地震応答解析モデル

別紙 7 疲労評価の対象設備及び部位毎のピーク応力

設備名称	評価部位	ピーク応力 (MPa) (水平 2 方向考慮あり)
一律に設定する等価繰返し回数を用いる疲労評価対象設備		
原子炉压力容器	原子炉压力容器支持 スカート	379
	下部鏡板	85
	給水ノズル (N4)	266
	胴板	123
	制御棒駆動機構ハウ ジング貫通孔	266
	原子炉冷却材再循環 ポンプ貫通孔 (N1)	945
	主蒸気ノズル (N3)	89
	低圧注水ノズル (N6)	539
	上蓋スプレイ・ベン トノズル (N7)	359
	原子炉停止時冷却材 出口ノズル (N8)	165
	原子炉停止時冷却材 出口ノズル (N10)	177
	原子炉冷却材再循環 ポンプ差圧検出ノズ ル (N9)	715
	炉心支持板差圧検出 ノズル (N11)	715
	計装ノズル (N12)	316
	計装ノズル (N13)	316
	計装ノズル (N14)	98
	ドレンノズル (N15)	217
	高圧炉心注水ノズル (N16)	592
原子炉冷却材再循環 ポンプモータケーシ ング	65	
制御棒駆動機構	スプールピースの最 小断面	22 ^{*1}
原子炉冷却材再循環 ポンプ	モータカバー	5
	補助カバー	1
燃料集合体	燃料被覆管	50
原子炉補機冷却水系 熱交換器 (A), (B), (D), (E)	胴板	936 ^{*1}

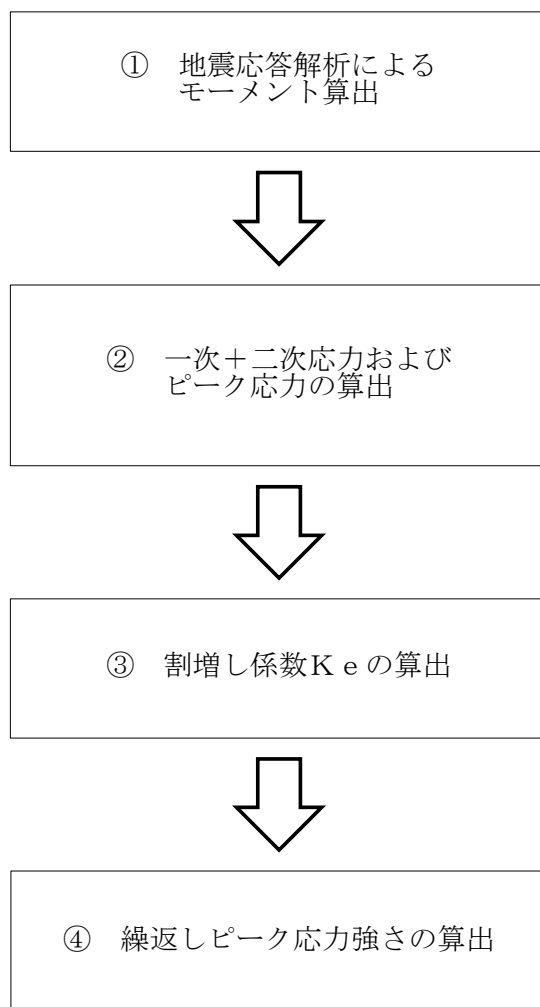
設備名称	評価部位	ピーク応力 (MPa) (水平 2 方向考慮あり)
純水補給水系 (KMUWP-244)	配管本体	1225
個別に設定する等価繰返し回数を用いる疲労評価対象設備		
高圧注水系配管 (HPCF-008)	配管本体	1365
低圧代替注水系配管 (KMUWC-763)	配管本体	1090
原子炉補機冷却水系 配管 (RCW-A02)	配管本体	1169

- ※1 水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微であることから水平 1 方向入力の評価結果を記載。(詳細は KK6 補足-024「工事計画に係る説明資料(耐震性に関する説明書)資料 4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」参照。)

別紙8 ピーク応力の算出方法について

ここでは、代表設備（クラス1配管のうち地震+地震以外の疲れ累積係数UFが最大となる配管モデルMS-002）のピーク応力算出方法について説明する。

地震時のピーク応力算出フローを別図8-1に、算出方法を以下に示す。



別図8-1 地震時のピーク応力算出フロー

① 地震応答解析によるモーメント算出

MS-002 の地震応答解析（3次元はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析）を実施し、MS-002 に生じるモーメントを算出する。この地震応答解析から得られたモーメントを別表 8-1 及び別表 8-2 に示す。

別表 8-1 地震応答解析から得られた分岐管に生じるモーメント (N・mm)

	Mx	My	Mz
慣性力			
相対変位			

別表 8-2 地震応答解析から得られた主管に生じるモーメント (N・mm)

	Mx	My	Mz
慣性力			
相対変位			

② 一次+二次応力およびピーク応力の算出

別表 8-1 及び別表 8-2 に示すモーメントにより算出した一次+二次応力 S_n 及びピーク応力 S_p は以下による。(J E A G 4 6 0 1-1987 (6.6.2-21), (6.6.2-24))

$$S_n = \frac{C_{2b} \times M_{bS}}{Z_b} + \frac{C_{2r} \times M_{rS}}{Z_r}$$

$$= \frac{2.16 \times 2.9135 \times 10^8}{1.0170 \times 10^6} + \frac{1.5 \times 4.5311 \times 10^8}{1.2794 \times 10^7} = 671.94 \text{ (MPa)}$$

$$S_p = \frac{K_{2b} \times C_{2b} \times M_{bS}}{Z_b} + \frac{K_{2r} \times C_{2r} \times M_{rS}}{Z_r}$$

$$= \frac{1 \times 2.16 \times 2.9135 \times 10^8}{1.0170 \times 10^6} + \frac{2 \times 1.5 \times 4.5311 \times 10^8}{1.2794 \times 10^7} = 725.06 \text{ (MPa)}$$

一次+二次応力及びピーク応力の算出で用いている記号は以下の通り。

S_n : 一次+二次応力 (MPa)

S_p : ピーク応力 (MPa)

K_{2b} , K_{2r} , C_{2b} , C_{2r}

: 応力係数 (J S M E 設計・建設規格(2005/2007) PPB-3812.3)

M_{bs}	: 別表 8-1 より分岐管に生じるモーメントの全振幅(モーメントの各方向を SRSS) (N・mm)
M_{rs}	: 別表 8-2 より主管に生じるモーメントの全振幅(モーメントの各方向を SRSS) (N・mm)
Z_b	: 分岐管の断面係数(mm ³)
Z_r	: 主管の断面係数(mm ³)

③ 割増し係数 K_e の算出

②にて求めた一次+二次応力 S_n が $3S_m$ 以上となるため、割増し係数 K_e を算出する。当該配管は J SME 設計・建設規格(2005/2007)PVB-3315(2) a. (b) の場合に該当するため、割増し係数 K_e は以下の通りとなる (J SME 設計・建設規格(2005/2007)PVB-84)。

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \left(1 - \frac{3S_m}{S_n} \right)$$

$$= 1 + (3.1 - 1) \left(1 - \frac{375}{671.93} \right) = 1.928$$

割増し係数 K_e の算出で用いている記号は以下の通り。

S_m	: 最高使用温度(302℃)における設計応力強さ (MPa)
q	: J SME 設計・建設規格(2005/2007)表 PVB-3315-1 のうち MS-002 の材料である炭素鋼の値

④ 繰返しピーク応力強さの算出

ピーク応力 S_p 及び割増し係数 K_e を用い、繰返しピーク応力強さ S_l は以下の通りになる。(J SME 設計・建設規格(2005/2007)PVB-82)

$$S_l = \frac{K_e \times S_p}{2} = \frac{1.928 \times 725.06}{2} = 698.96 \quad (\text{MPa})$$

縦弾性係数 E による温度補正を行い、繰返しピーク応力強さ S_l' は以下となる。

$$S_l' = 698.96 \times 207000 \div 185880 = 779 \quad (\text{MPa})$$

繰返しピーク応力強さの算出で用いている記号は以下の通り。

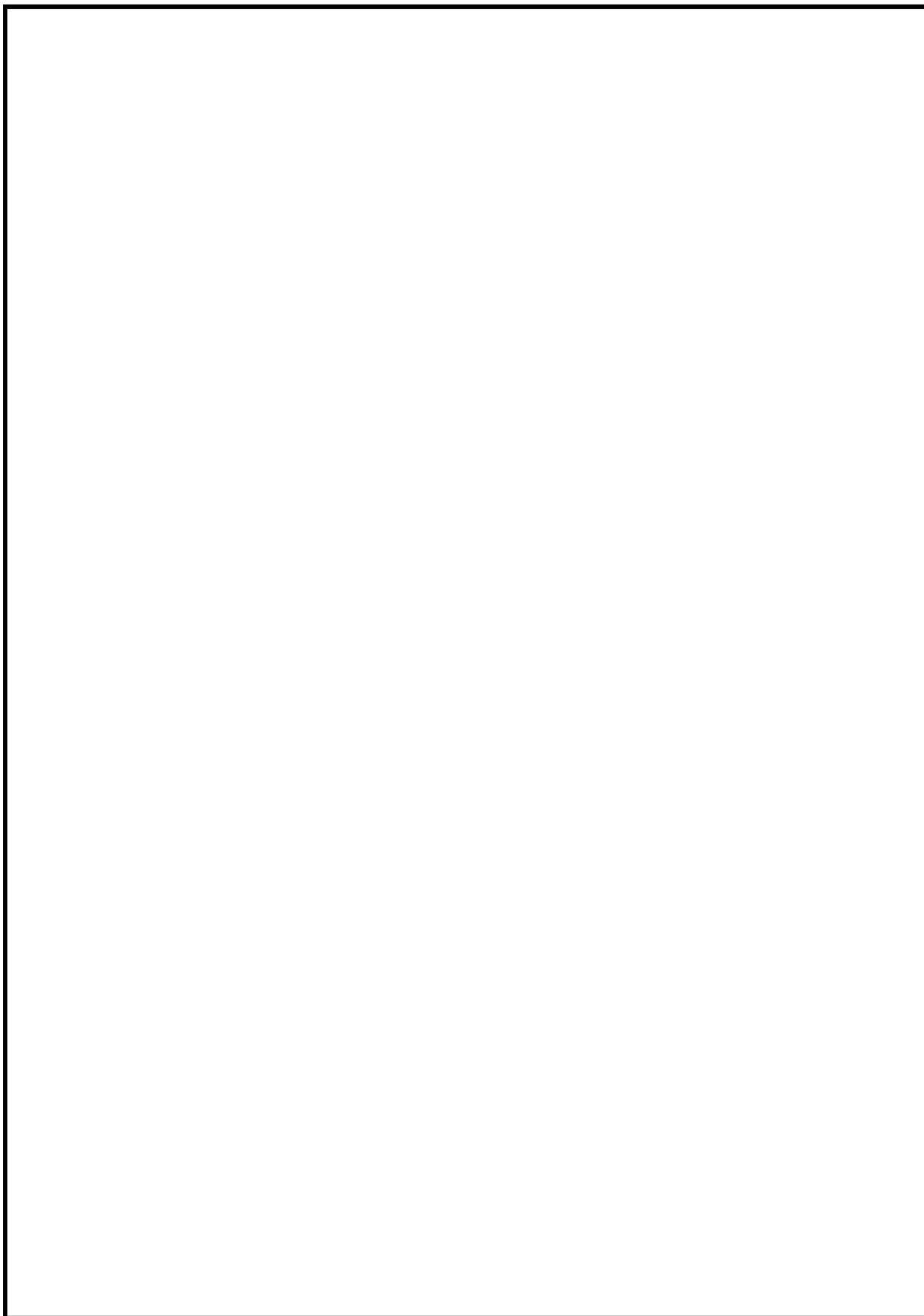
S_l	: 繰返しピーク応力 (温度補正前) (MPa)
S_l'	: 繰返しピーク応力 (温度補正後) (MPa)
E	: 289℃における縦弾性係数 185880 (MPa)

別紙9 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

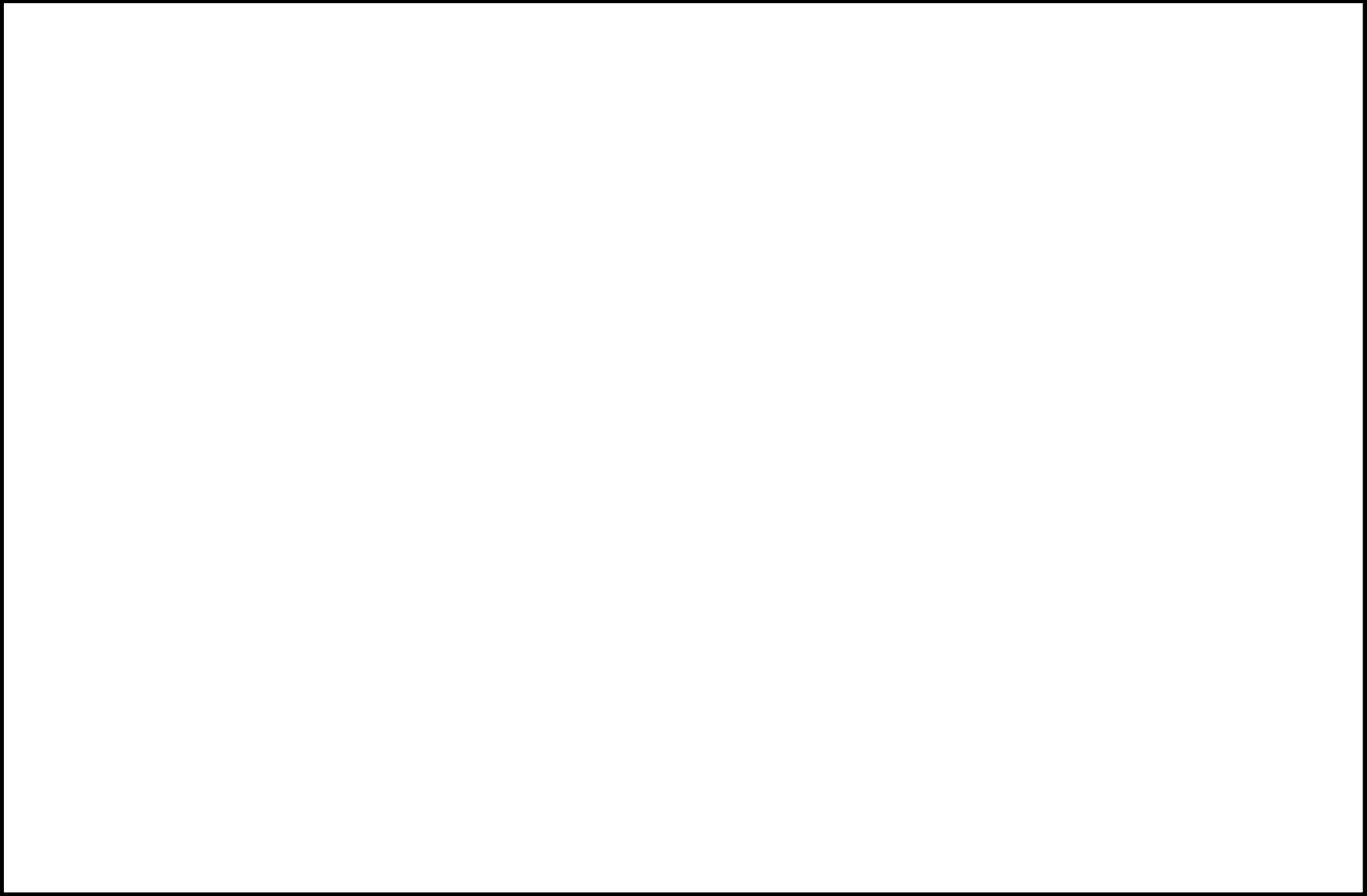
1. はじめに

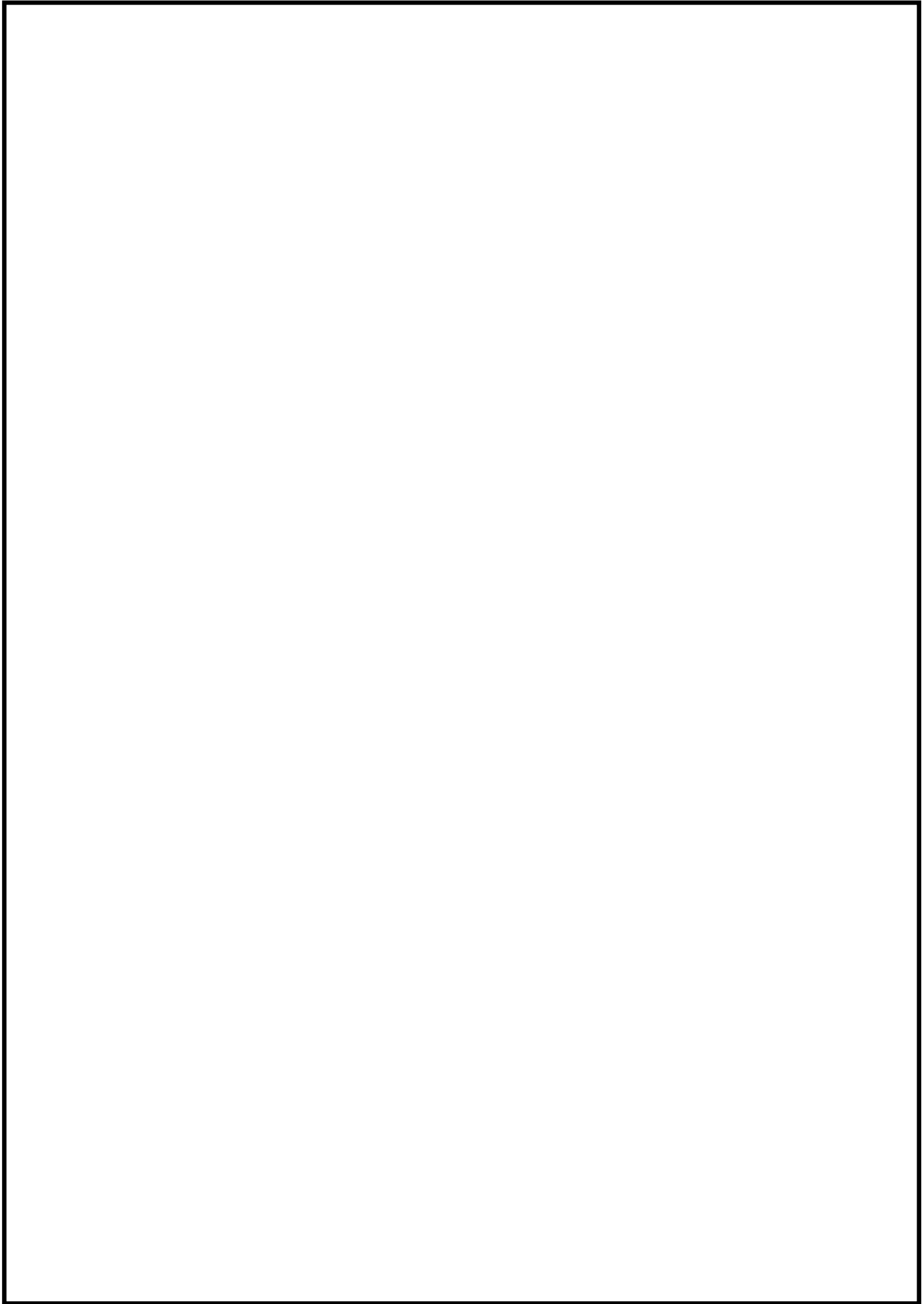
本資料は多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法についてまとめたものである。

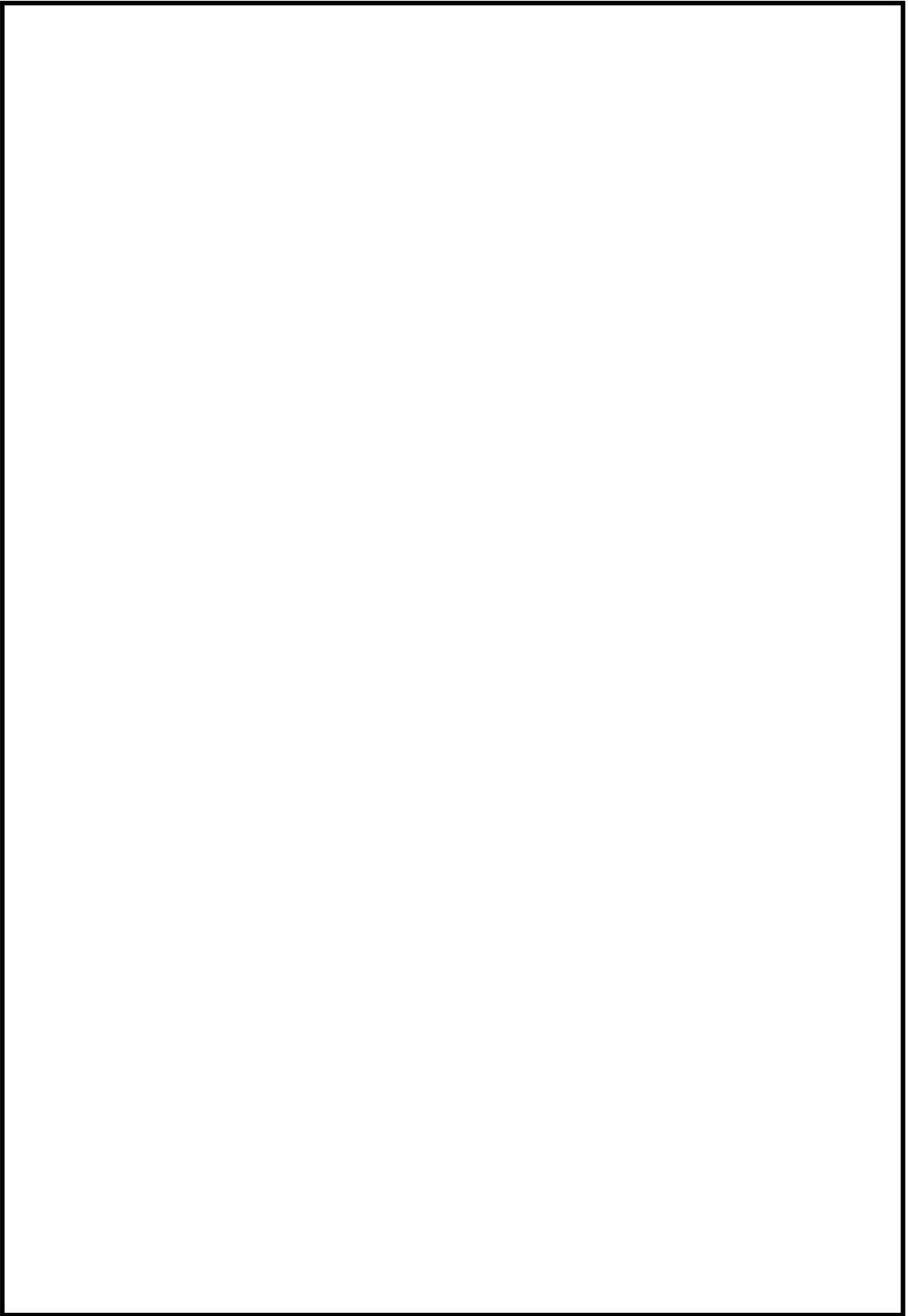
本内容は電共研「新規制基準対応を踏まえた機器・配管系評価方法に関する研究」（平成29年3月）にて検討されており、2項にて電共研における成果を示し、3項にて柏崎刈羽6号機において多方向入力時に各方向の等価繰返し回数の最大値を用いることは妥当であることを示すものである。

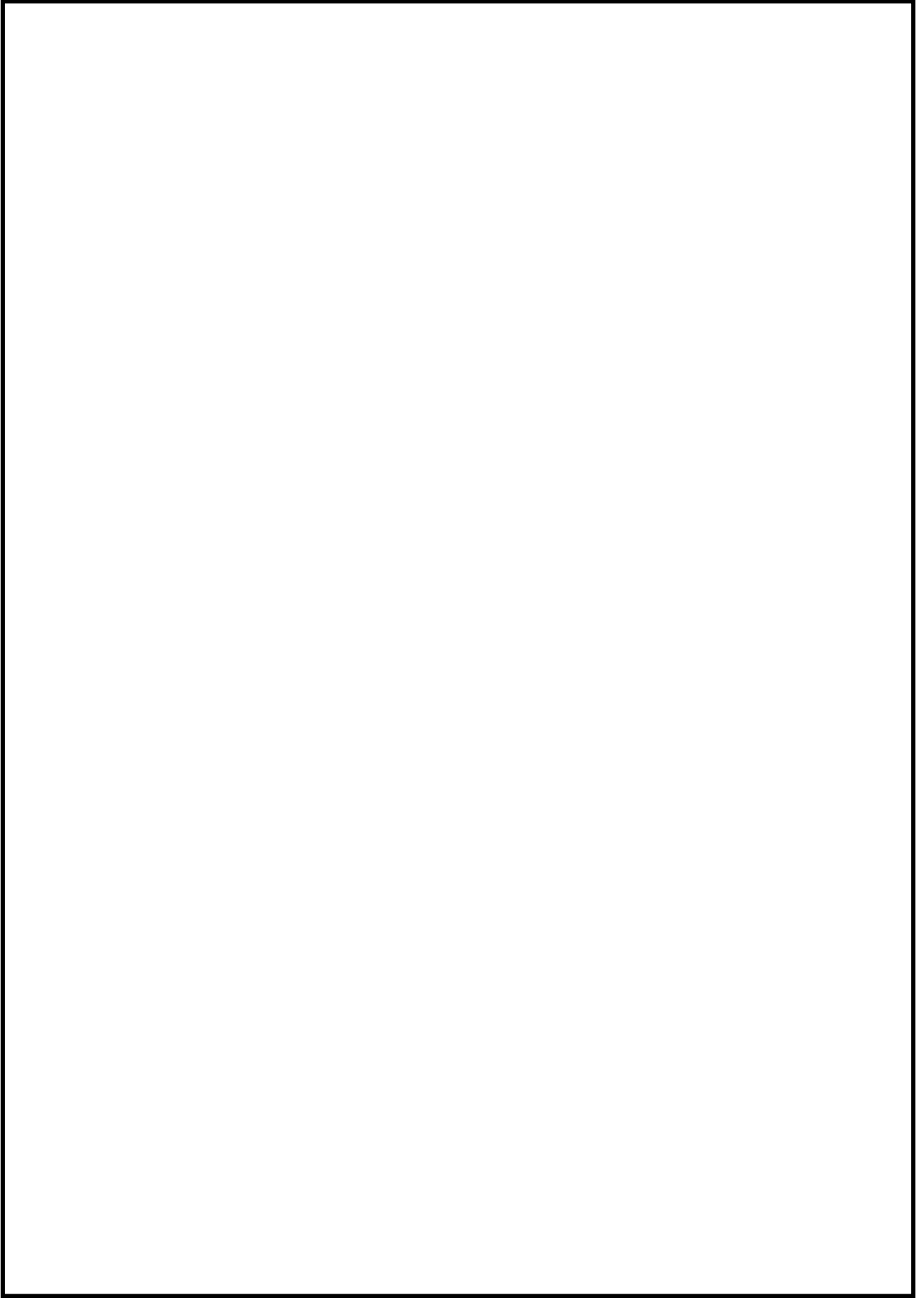


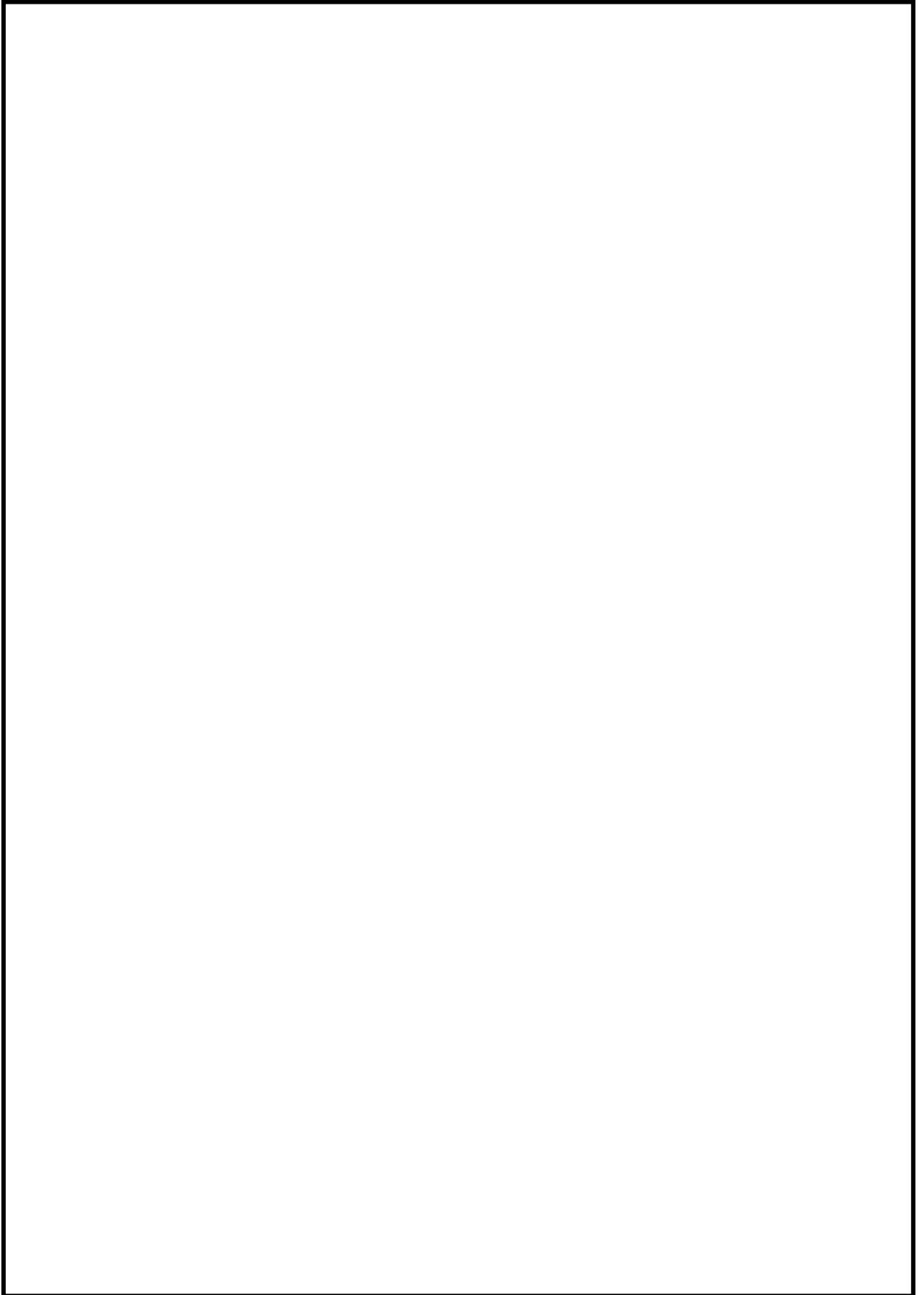
別紙 9-3

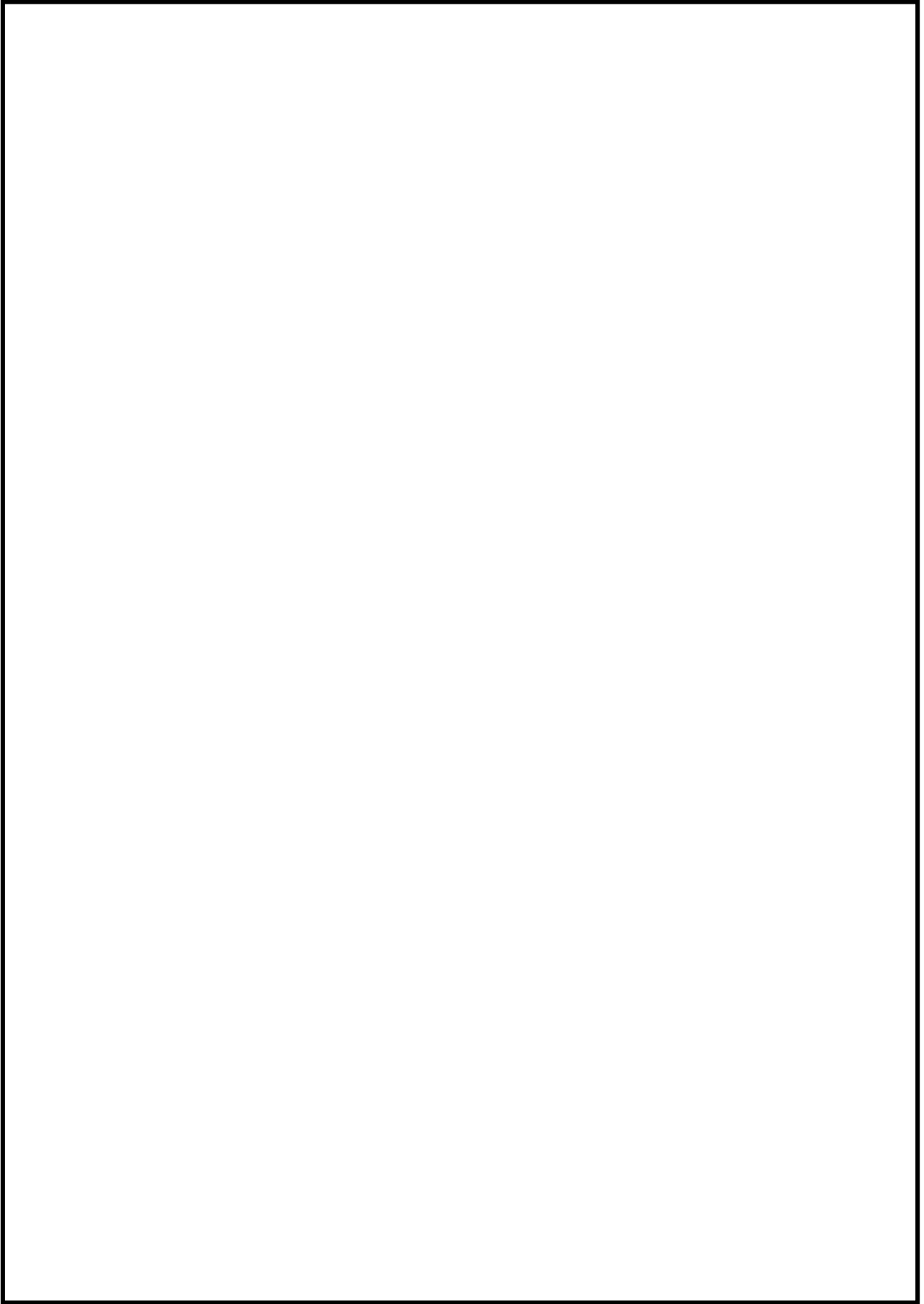


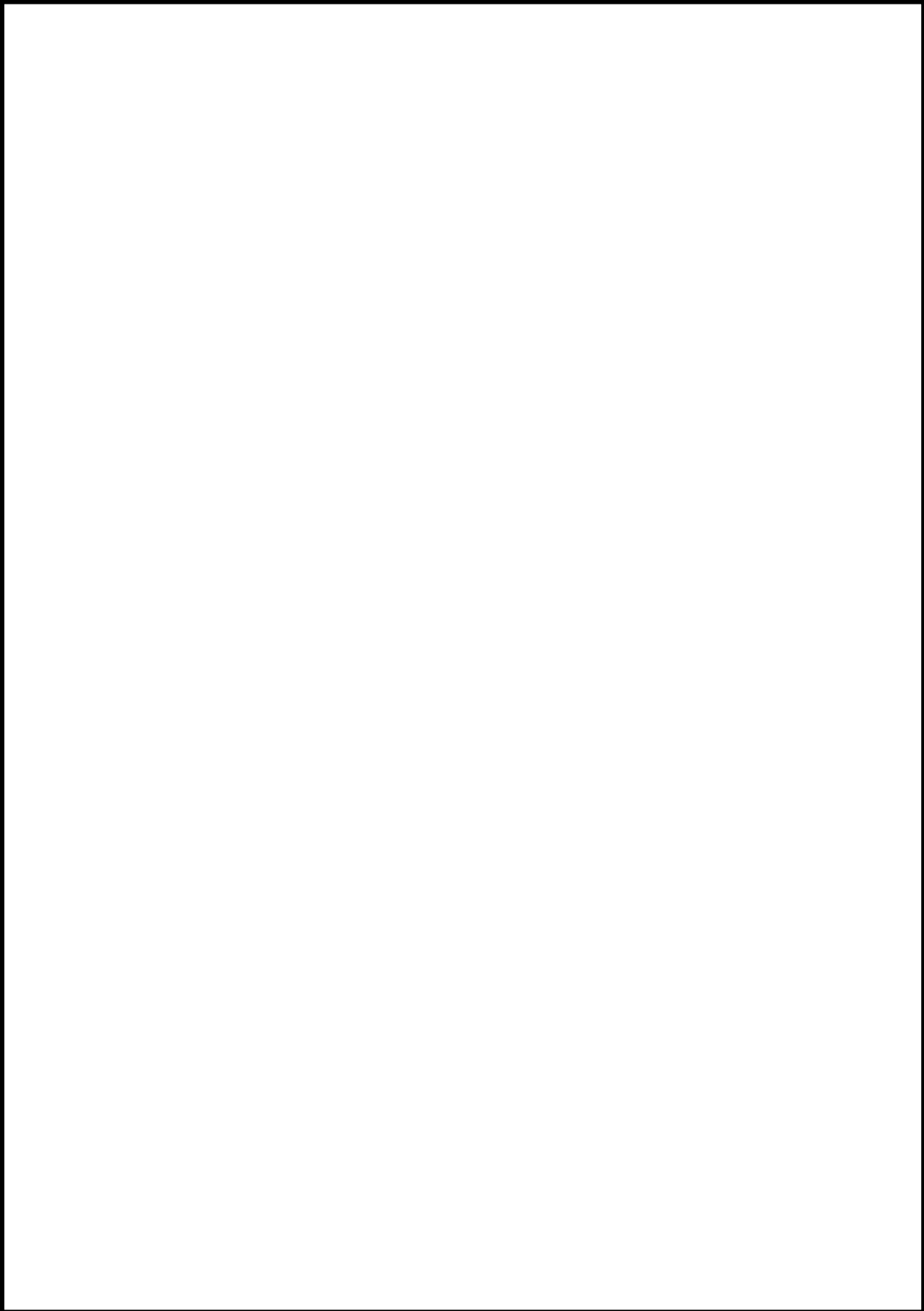


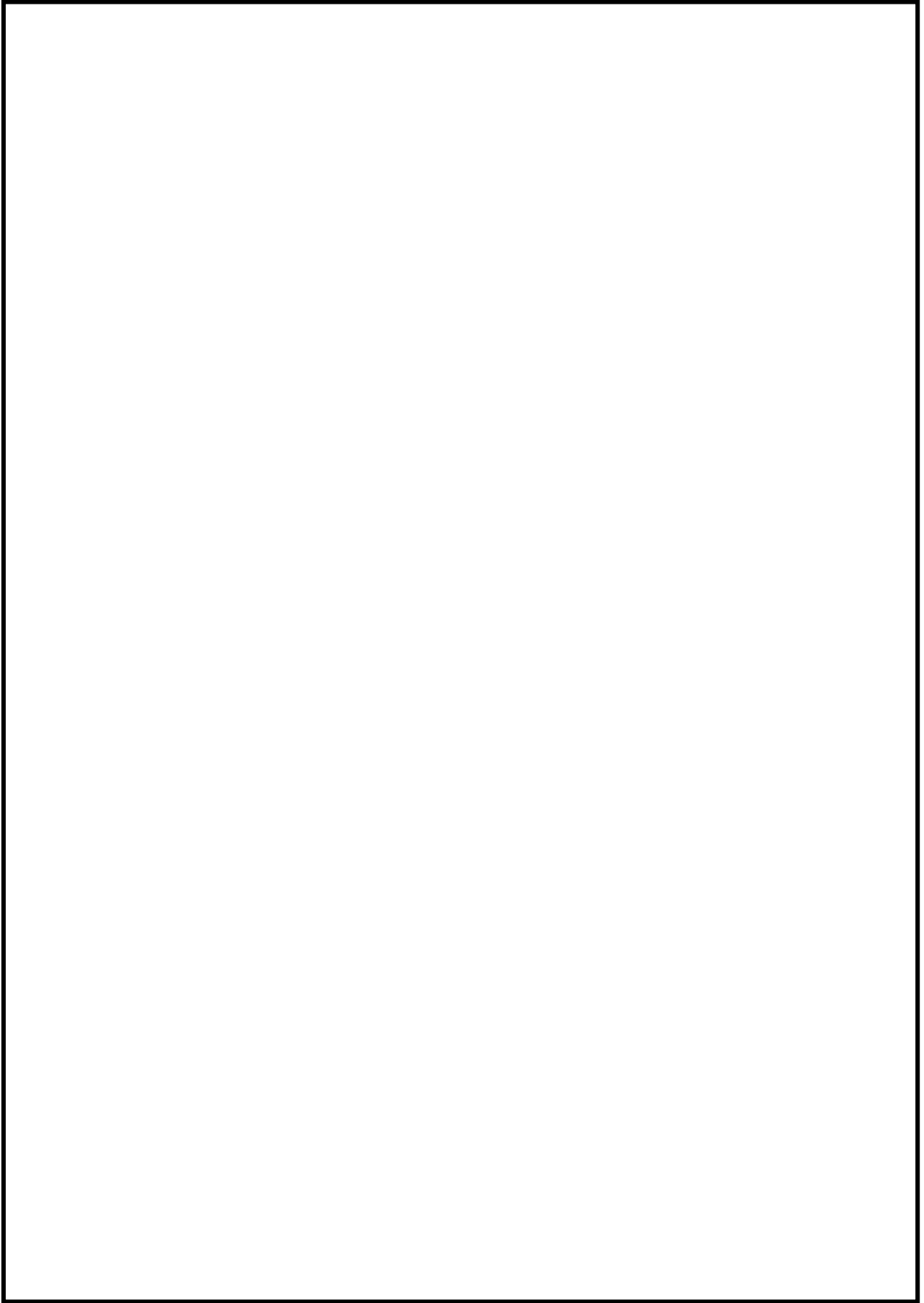




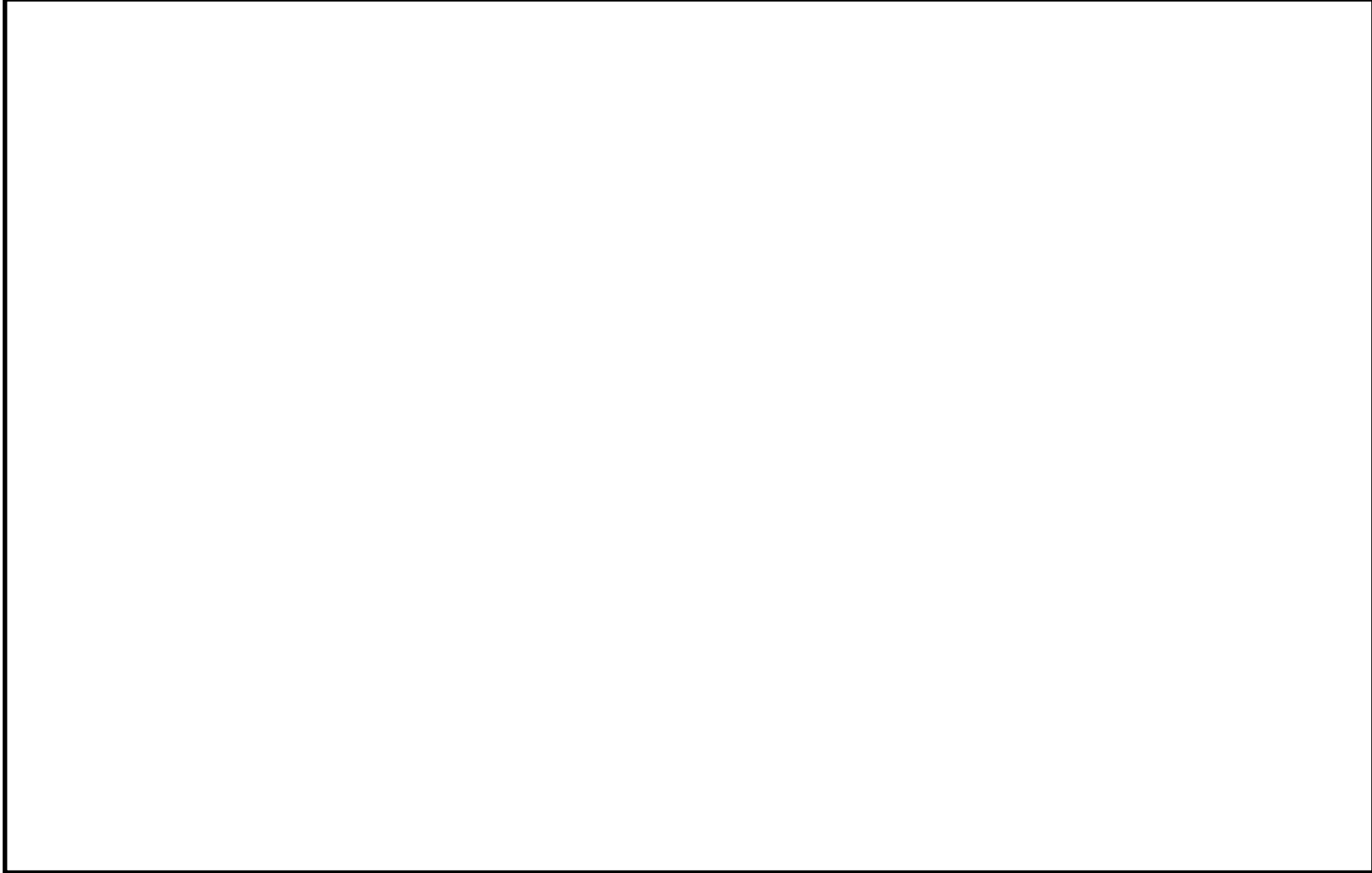








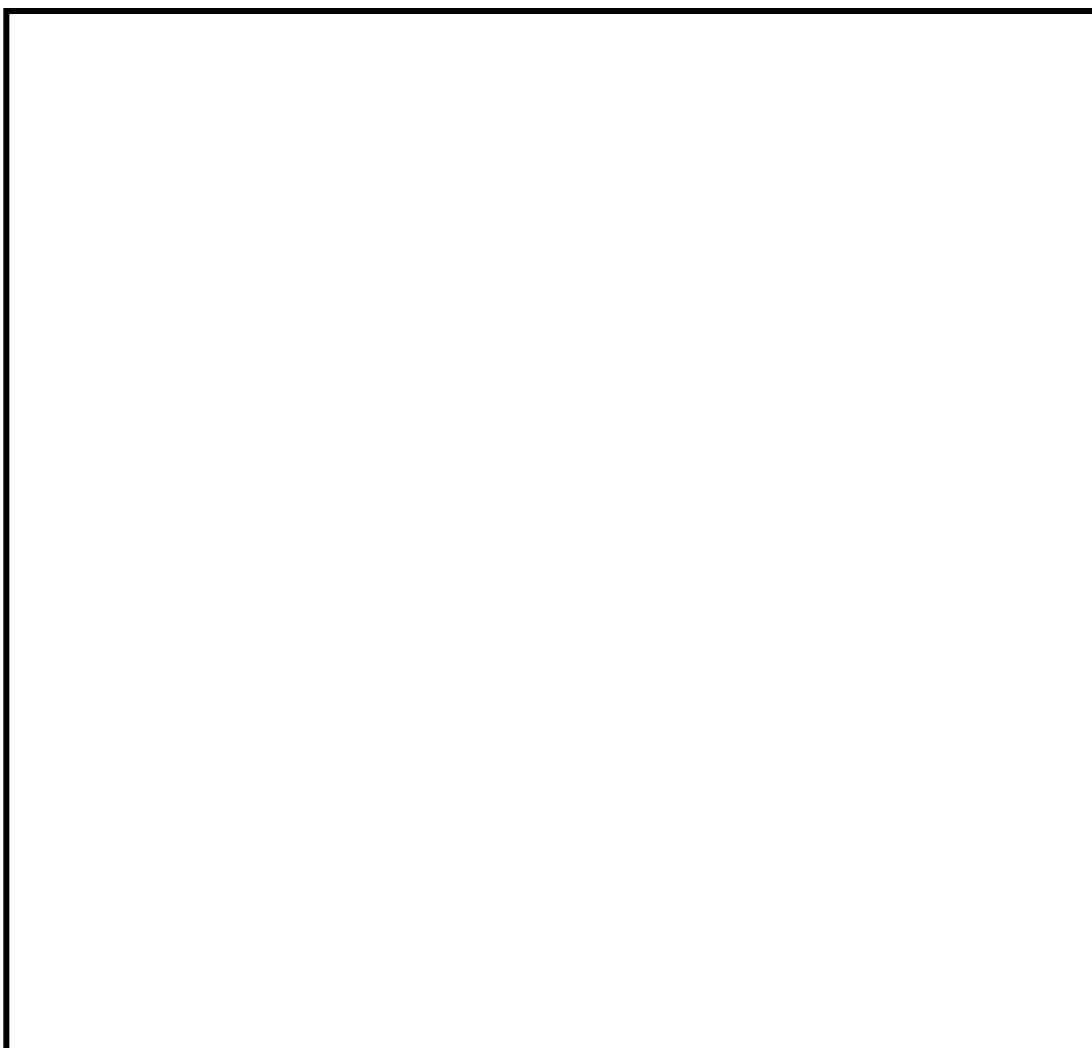
別紙 9-11



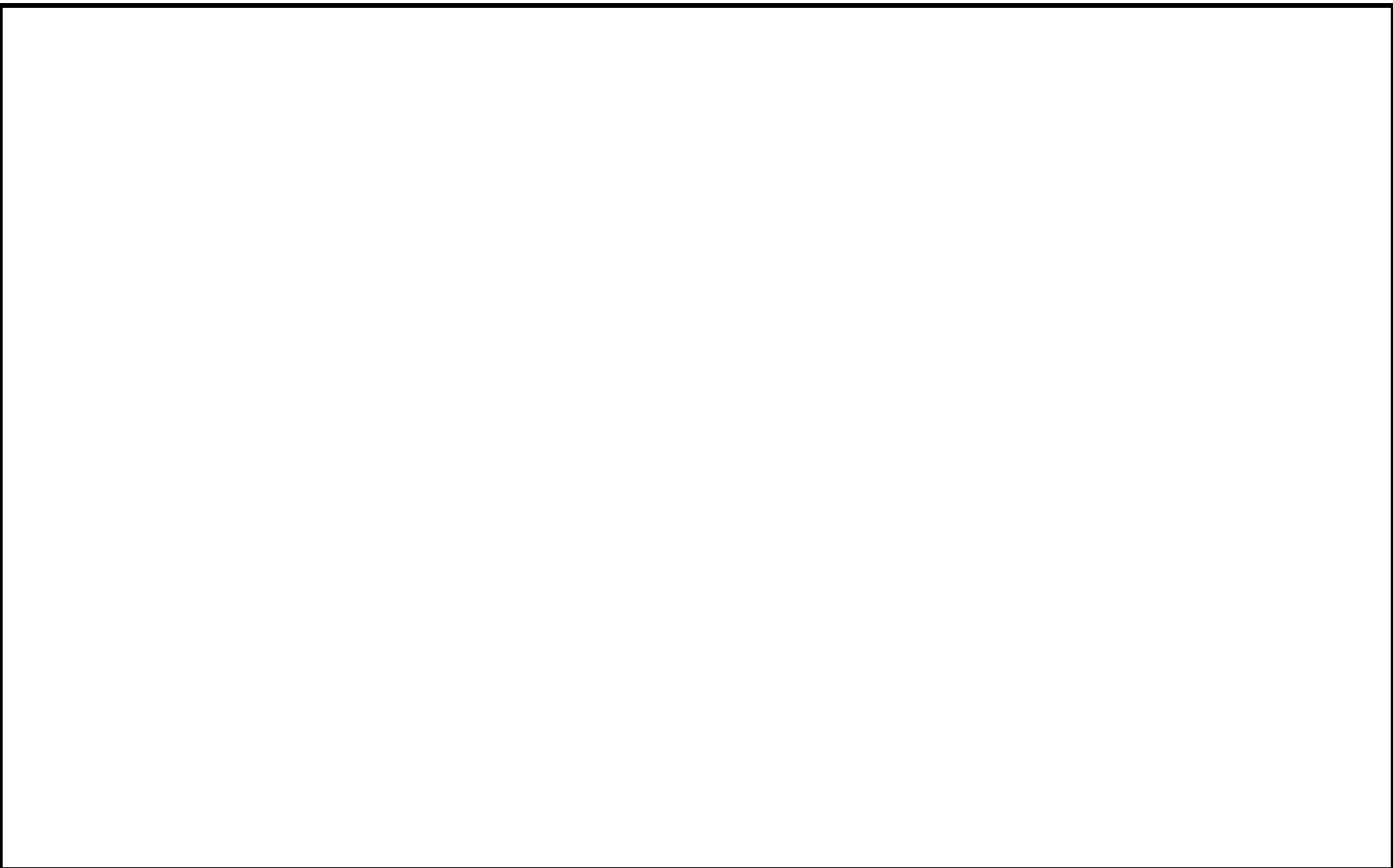
別紙 9-12

3. 柏崎刈羽6号機における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

2. 2. 2項において2方向同時入力の結果について纏めているが、下記理由により3方向同時入力に対しても同様に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と言える。



別紙 9-14



別紙 10 柏崎刈羽 6 号機 等価繰返し回数の保守性について

1. はじめに

柏崎刈羽 6 号機の今回工認では一律に設定する等価繰返し回数（ S_s : 200 回, S_d : 200 回）の設定を行っている。この設定の保守性について説明する。

2. 検討事項

本資料では以下項目を検討し、柏崎刈羽 6 号機の一律に設定する等価繰返し回数の設定の保守性を示す。

- (1) 等価繰返し回数算出パラメータの比較 (3. 参照)
- (2) 柏崎刈羽 6 号機の地震動の特性を踏まえた保守性の整理 (4. 参照)
- (3) 柏崎刈羽 6 号機の疲労評価に含まれる保守性の整理 (5. 参照)

3. 等価繰返し回数算出パラメータの比較

本文 3. (2) にて説明している等価繰返し回数の算出に用いるパラメータについて先行プラントと比較した結果を別表 10-1 に示す。

別表 10-1 より、先行と同等か、又は保守的に設定していることを確認した。

④-3 は先行プラントと比較し差異があることを確認したが、柏崎刈羽 6 号機が有する地震動の特性を踏まえた保守性を 4. にて検討する。

別表 10-1 柏崎刈羽 6 号機 一律に設定する等価繰返し回数算出パラメータの整理

パラメータ	柏崎刈羽 6 号機	柏崎刈羽 7 号機	島根 2 号機	差異理由
①ピーク応力	1471MPa	1471MPa	1471MPa	差異なし。
②固有周期	全固有周期	全固有周期	全固有周期	差異なし。
③対象床面 (質点)	【原子炉建屋に設置された機器・配管系】 全床面 (質点) 【原子炉格納容器, 原子炉压力容器等大型機器】 全床面 (質点)	【原子炉建屋に設置された機器・配管系】 全床面 (質点) 【原子炉格納容器, 原子炉压力容器等大型機器】 全床面 (質点)	【原子炉建屋に設置された機器・配管系】 全床面 (質点) 【原子炉格納容器, 原子炉压力容器等大型機器】 疲労評価を実施する設備を有する床面 (質点)	【柏崎刈羽 7 号機】 差異なし。 【島根 2 号機】 島根 2 号機では, 疲労評価を実施する設備を有する床面 (質点) を対象としていることに対して, 柏崎刈羽 6 号機は耐震条件を作成する全床面 (質点) を対象としている。
④-1 地震動 (基準地震動 S_s の種類)	基準地震動 S_s ($S_s-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$) の全 8 波を考慮。	基準地震動 S_s ($S_s-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$) の全 8 波を考慮。	基準地震動 S_s-D (代表)	【柏崎刈羽 7 号機】 差異なし。 【島根 2 号機】 島根 2 号機では, 基準地震動 5 波の比較から, 代表性を確認した地震動を用いて検討を行っていることに対して, 柏崎刈羽 6 号機では全ての基準地震動 S_s を用いている。
④-2 地震動 (基準地震動 S_s の等価繰返し回数の算出用)	基準地震動 S_s 1 回分に加えて NCO 及び弾性設計用地震動 S_d の 1/3 倍した地震動 5 回分考慮。	基準地震動 S_s 1 回分に加えて NCO 及び弾性設計用地震動 S_d の 1/3 倍した地震動 5 回分考慮。	基準地震動 S_s 1 回分を考慮。	【柏崎刈羽 7 号機】 差異なし。 【島根 2 号機】 柏崎刈羽 6 号機では, 米国の知見を参考に弾性設計用地震動 S_d の 1/3 倍した地震動 5 回分を, 本来考慮すべき基準地震動 S_s 1 回分に追加している。また, 過去に経験した NCO も追加している。
④-3 地震動 (弾性設計用地震動 S_d の設定)	基準地震動 S_s 1 回分に加えて NCO 及び弾性設計用地震動 S_d の 1/3 倍した地震動 5 回分考慮。	基準地震動 S_s 1 回分に加えて NCO 及び弾性設計用地震動 S_d の 1/3 倍した地震動 5 回分考慮。	弾性設計用地震動 S_d 2 回分を考慮。	【柏崎刈羽 7 号機】 差異なし。 【島根 2 号機】 島根 2 号機では, 弾性設計用地震動 S_d 2 回分を考慮していることに対して, 柏崎刈羽 6 号機では, 基準地震動 S_s の等価繰返し回数を用いることで, ピーク応力, 算出用地震動 ($S_s \times 1$ 回 + $(1/3) S_d \times 5$ 回 + NCO) で保守性を持たせている。なお, 基準地震動 S_s による疲れ累積係数 UF が大きい設備に対し, 個別に設定する等価繰返し回数を設定することで疲れ累積係数 UF が 0.5 程度となることを確認している (別紙 10-5. 参照)。このため, 弾性設計用地震動 S_d による疲れ累積係数 UF は, 基準地震動 S_s による疲れ累積係数 UF より小さくなることを考えると, 島根 2 号機と同様に概ね弾性設計用地震動 S_d 2 回分の耐震性を有していると考えられる。

別表 10-1 柏崎刈羽 6 号機 一律に設定する等価繰返し回数算出パラメータの整理 (続き)

パラメータ	柏崎刈羽 6 号機	柏崎刈羽 7 号機	島根 2 号機	差異理由
⑤減衰定数	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0(%)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0(%)	1.0(%)	【柏崎刈羽 7 号機】 差異なし。 【島根 2 号機】 島根 2 号機では、疲労評価対象設備の減衰定数に対する検討結果から、代表性を確認した減衰定数を用いて検討を行っていることに対して、柏崎刈羽 6 号機では等価繰返し回数の算出を網羅的に実施するため、機器・配管系の設備評価によく用いられる 8 減衰を用いる。
⑥設計疲労線図	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	差異なし。
⑦材料物性の不確かさ等の考慮	地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等による影響を考慮。	地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等による影響を考慮。	地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等による影響を考慮。	差異なし。

4. 柏崎刈羽 6 号機の地震動の特性を踏まえた保守性の整理

等価繰返し回数を用いた疲労評価において、疲れ累積係数UFは以下の式にて算出される。

$$UF = \frac{N_e}{N_0}$$

N_e : 地震による等価繰返し回数

N_0 : 疲労評価対象設備に発生するピーク応力での許容繰返し回数

本来であれば、等価繰返し回数 N_e と許容繰返し回数 N_0 は同一の地震動を基に算出した値を用いて疲労評価を行えば良いが、柏崎刈羽 6 号機では基準地震動が複数 ($S_{s-1} \sim S_{s-8}$) 存在するため、基準地震動 $S_{s-1} \sim S_{s-8}$ の等価繰返し回数を包絡した上で、一律に設定する等価繰返し回数を 200 回と定めている。

また、許容繰返し回数を算出するためのピーク応力を求める際にも、基準地震動 $S_{s-1} \sim S_{s-8}$ の耐震条件 (床応答スペクトル, 最大応答加速度) を包絡させた上で、応力計算を実施している。

したがって、疲れ累積係数UFは基準地震動ごとの組合せを考慮せず、全ての基準地震動において最も厳しい (等価繰返し回数は大きい, 許容繰返し回数は小さい) 値を用いて求めているため、疲れ累積係数UFは保守的な値となる。

そこで、柏崎刈羽 6 号機において許容繰返し回数及び等価繰返し回数が厳しくなる地震動を整理し、疲労評価における地震動の特性を踏まえた保守性を整理する。

(1) 許容繰返し回数が厳しくなる (小さくなる) 地震動

許容繰返し回数は各疲労評価対象設備のピーク応力により定まる値であり、ピーク応力が大きくなるほど、許容繰返し回数は小さくなる。設備評価におけるピーク応力の大小は、その評価条件である地震力と比例することから、加速度の大きい地震動を確認する。疲労評価対象設備が多く設置されている原子炉建屋の最大応答加速度及び一部の床応答スペクトルを別表 10-2 及び別図 10-1 に示す。その結果、いずれも基準地震動 S_{s-1} 及び S_{s-2} が支配的であることが確認できた。

また、本文 3.(3) に記載の通り等価繰返し回数に対して支配的な地震動は S_{s-3} 系であるが、基準地震動 S_{s-3} の最大応答加速度は、基準地震動 S_{s-1} 及び S_{s-2} より 1~4 割程度小さくなっている。仮にこの割合をピーク応力 1471MPa に対して適用し、設計疲労線図より許容繰返し回数を求めると、基準地震動 S_{s-1} 及び S_{s-2} に対し基準地震動 S_{s-3} の許容繰返し回数は 1.2~3.4 倍になる。

別表 10-2 (1) 基準地震動 S_s ごとの最大応答加速度 (原子炉建屋の地震応答解析モデル：水平方向)

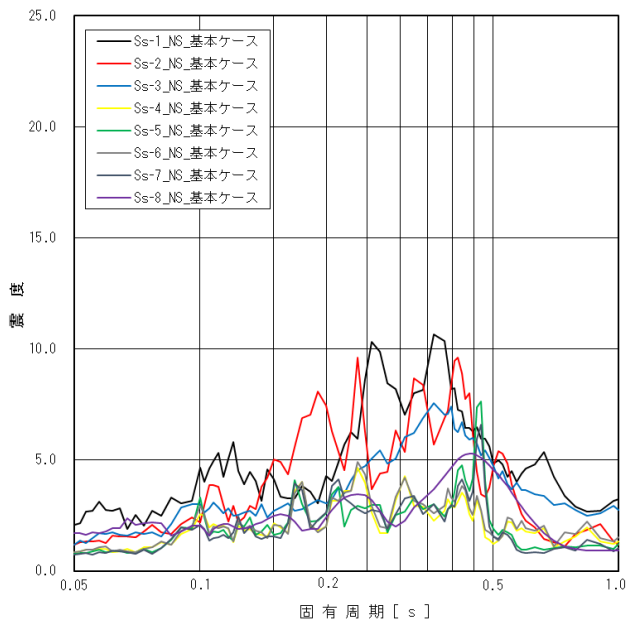
構造物名	質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$																包絡値
			S _s -1		S _s -2		S _s -3		S _s -4		S _s -5		S _s -6		S _s -7		S _s -8		
			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
原子炉建屋	1	49.700	1.84	1.70	1.11	1.42	1.11	1.05	0.81	0.93	0.68	1.05	0.83	0.95	0.68	1.20	1.46	1.37	1.84
	2	38.200	1.26	1.25	0.88	1.20	0.91	0.87	0.63	0.72	0.53	0.88	0.65	0.73	0.51	0.92	1.13	1.09	1.26
	3	31.700	1.10	1.10	0.79	1.10	0.80	0.78	0.54	0.63	0.49	0.79	0.56	0.66	0.45	0.82	1.00	0.97	1.10
	4	23.500	0.94	0.90	0.68	0.99	0.70	0.70	0.44	0.64	0.44	0.70	0.45	0.67	0.40	0.71	0.93	0.91	0.99
	5	18.100	0.83	0.84	0.61	0.94	0.64	0.63	0.38	0.64	0.39	0.65	0.39	0.67	0.35	0.65	0.84	0.84	0.94
	6	12.300	0.77	0.80	0.54	0.88	0.61	0.61	0.33	0.62	0.36	0.59	0.33	0.66	0.31	0.61	0.76	0.77	0.88
	7	4.800	0.68	0.74	0.51	0.82	0.58	0.58	0.28	0.56	0.32	0.53	0.28	0.60	0.29	0.58	0.64	0.67	0.82
	8	-1.700	0.71	0.68	0.47	0.85	0.60	0.58	0.27	0.50	0.30	0.51	0.29	0.54	0.28	0.57	0.57	0.58	0.85
	9	-8.200	0.60	0.60	0.46	0.74	0.64	0.63	0.28	0.45	0.27	0.51	0.31	0.48	0.26	0.57	0.52	0.53	0.74
	10	-13.700	0.65	0.63	0.47	0.71	0.68	0.67	0.29	0.44	0.27	0.51	0.32	0.46	0.26	0.59	0.48	0.50	0.71

 : 当該質点で最大となる地震動

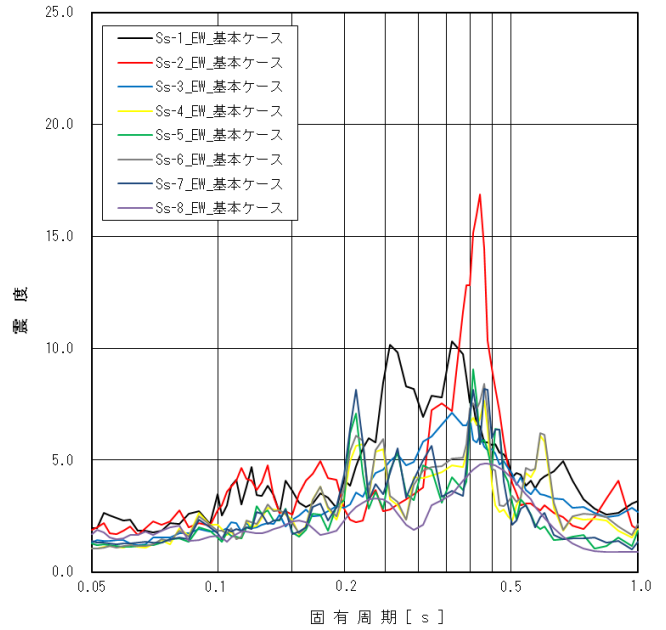
別表 10-2 (2) 基準地震動 S_s ごとの最大応答加速度 (原子炉建屋の地震応答解析モデル：鉛直方向)

構造物名	質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$								包絡値
			S _s -1	S _s -2	S _s -3	S _s -4	S _s -5	S _s -6	S _s -7	S _s -8	
			鉛直	鉛直	鉛直	鉛直	鉛直	鉛直	鉛直	鉛直	
原子炉建屋	1	49.700	0.99	0.63	0.67	0.50	0.48	0.52	0.50	0.38	0.99
	2	38.200	0.96	0.61	0.64	0.47	0.48	0.49	0.48	0.33	0.96
	3	31.700	0.92	0.60	0.62	0.45	0.47	0.47	0.47	0.31	0.92
	4	23.500	0.90	0.59	0.61	0.43	0.46	0.45	0.45	0.29	0.90
	5	18.100	0.88	0.58	0.61	0.42	0.45	0.44	0.44	0.27	0.88
	6	12.300	0.86	0.57	0.60	0.40	0.43	0.43	0.42	0.25	0.86
	7	4.800	0.83	0.55	0.60	0.39	0.42	0.42	0.39	0.25	0.83
	8	-1.700	0.80	0.52	0.60	0.39	0.41	0.41	0.37	0.25	0.80
	9	-8.200	0.79	0.50	0.60	0.39	0.40	0.39	0.35	0.26	0.79
	10	-13.700	0.79	0.50	0.60	0.39	0.39	0.39	0.35	0.26	0.79

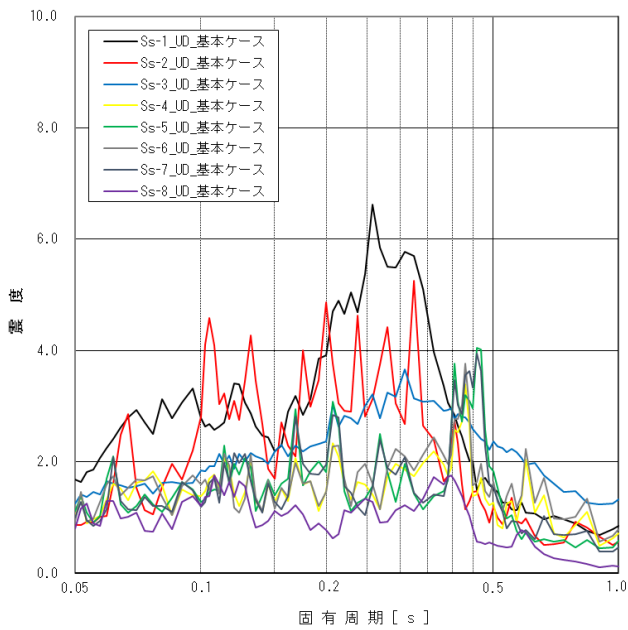
: 当該質点で最大となる地震動



(a) NS方向

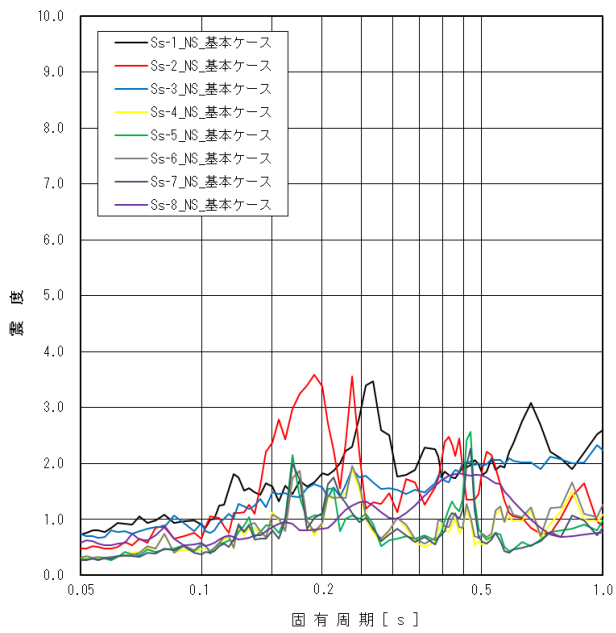


(b) EW方向

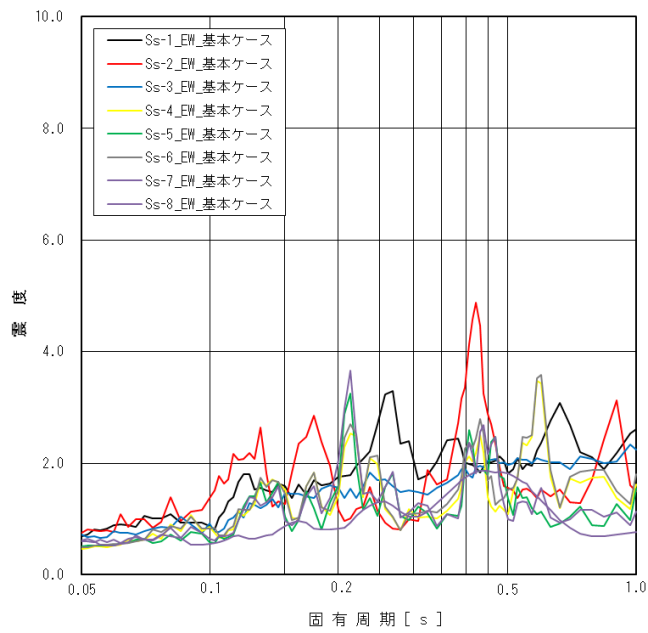


(c) 鉛直方向

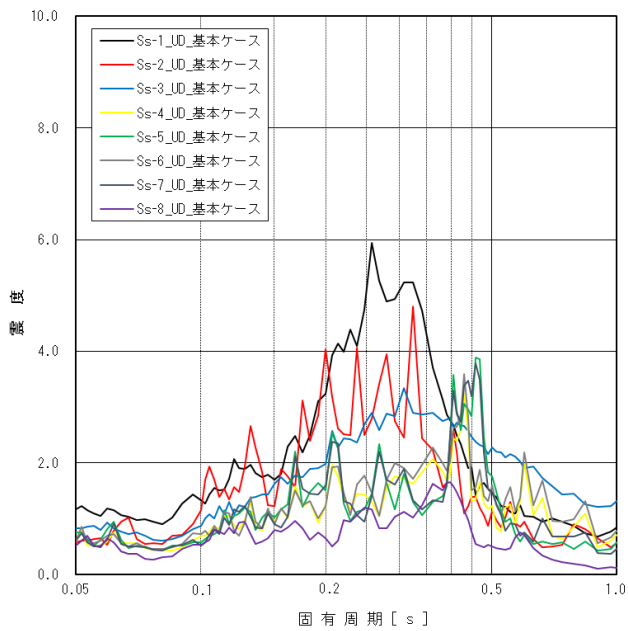
別図10-1 (1) 原子炉建屋の床応答スペクトル
(T.M.S.L. 49.700m, 減衰 1.0%)



(a) NS 方向



(b) EW 方向



(c) 鉛直方向

別図 10-1 (2) 原子炉建屋の床応答スペクトル
(T. M. S. L. -8. 200m, 減衰 1.0%)

(2) 等価繰返し回数が厳しくなる（大きくなる）地震動

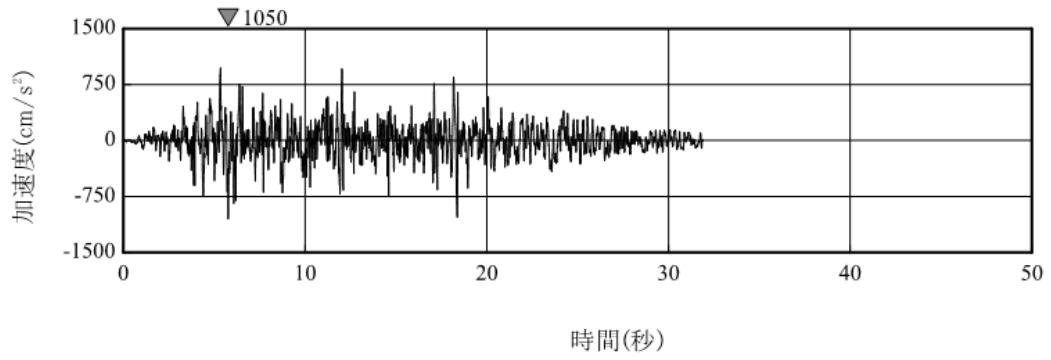
基準地震動 $S_s - 1 \sim 3$ の解放基盤表面における加速度時刻歴波形を別図 10-2 に示す。また、基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 8$ の継続時間を別表 10-3 に示す。

今回工認の等価繰返し回数の算出に用いるピーク応力法は、時刻歴波形の最大値に対応するピーク応力を仮定して、等価繰返し回数の算出を行う手法である。この手法の特徴から、地震動波形の加速度振幅の最大値は等価繰返し回数の算出に大きな影響を与えないと考えられる。一方で、最大加速度振幅に近い加速度振幅が多く、加えて、継続時間が長い地震動が等価繰返し回数を大きく算出すると考えられる。

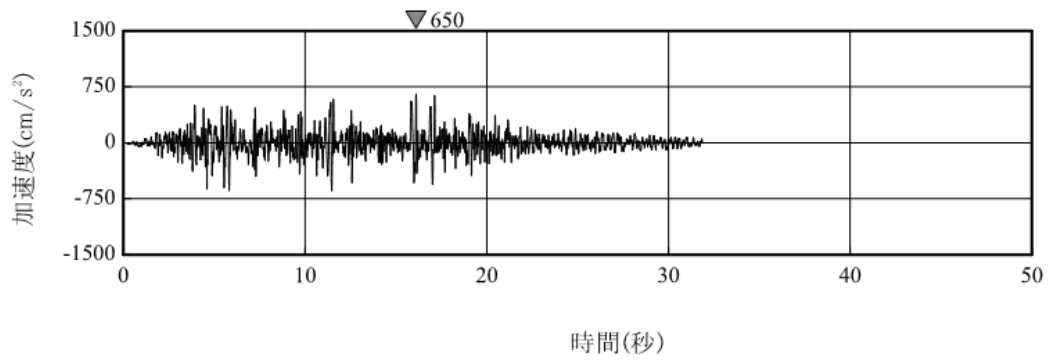
別図 10-2 より、基準地震動 $S_s - 3$ の最大加速度振幅は基準地震動 $S_s - 1$ 及び $S_s - 2$ と比べて小さいものの、最大加速度振幅に近い加速度振幅が多く続く波形である。更に、地震動のうち等価繰返し回数算出に有意な影響を与える主要な地震動が続く時間は基準地震動 $S_s - 3$ が基準地震動 $S_s - 1$ 及び $S_s - 2$ と比べて長い波形となっている。

全 8 波の地震動の等価繰返し回数の最大値を地震応答解析モデル毎に整理した結果を別表 10-4 に示す。表より $S_s - 3$ 系の地震動が最大の回数となっており、この回数を基に一律に設定する等価繰返し回数を 200 回としている。

ここで、(1) の結果から、許容繰返し回数が厳しくなる地震動は基準地震動 $S_s - 1$ 及び $S_s - 2$ であるため、それらの地震動の等価繰返し回数を一律に設定する等価繰返し回数 200 回と比較すると、0.2~0.7 倍ほどの小さい値となる。このため、地震動毎に見れば一律に設定する等価繰返し回数は十分に保守的に設定されている。

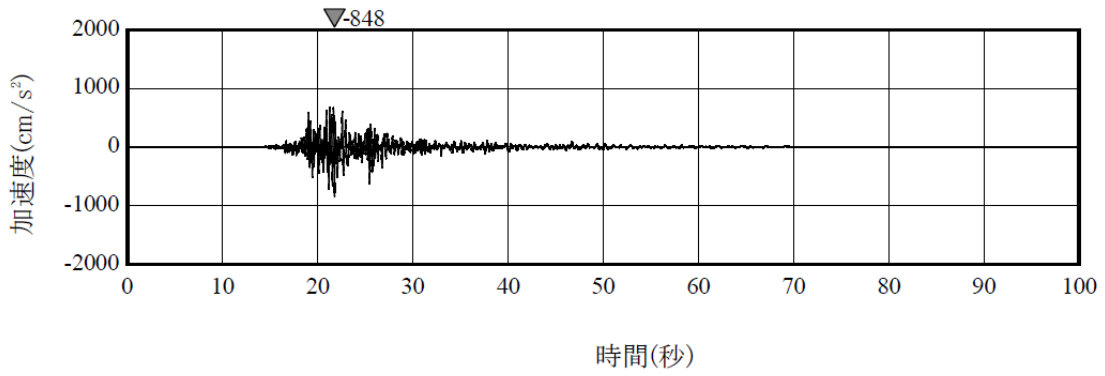


(a) Ss-1H

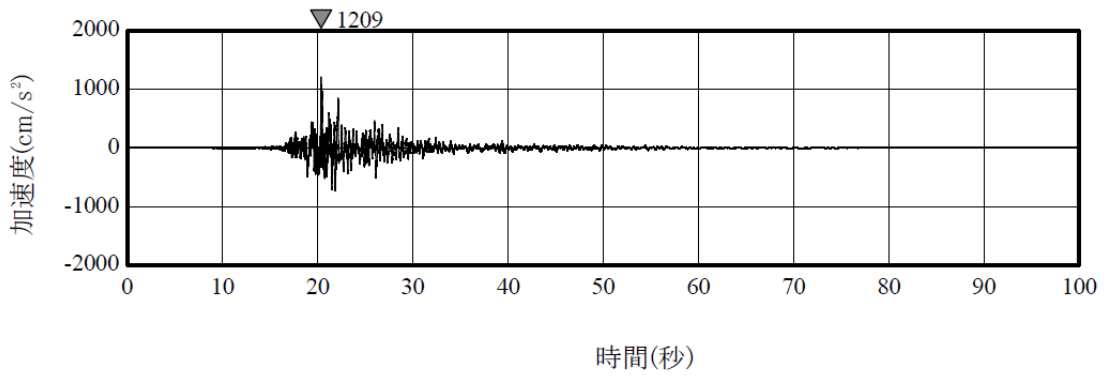


(b) Ss-1V

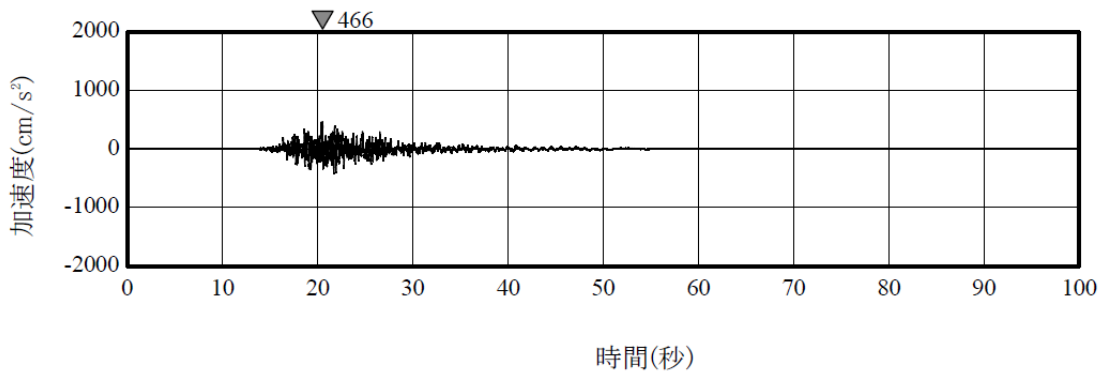
(VI-2-1-2 「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」 p172 より抜粋)
 別図 10-2 (1) 基準地震動 S_s-1 の加速度時刻歴波形(大湊側)



(a) S_s-2NS

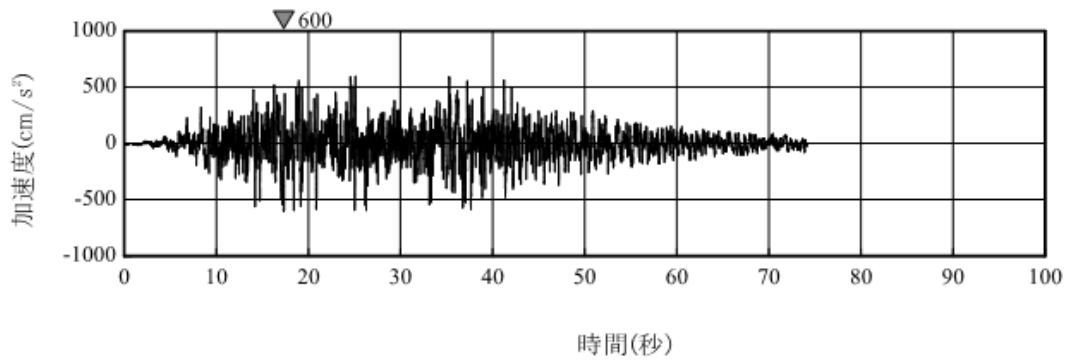


(b) S_s-2EW

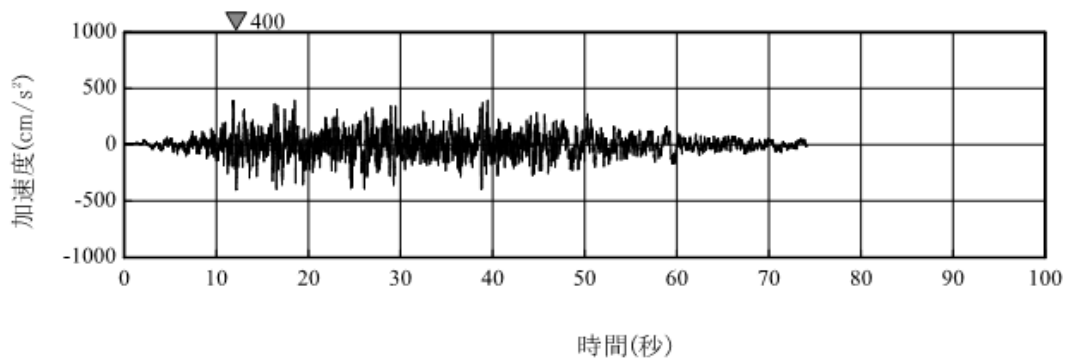


(c) S_s-2UD

(VI-2-1-2 「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」 p174 より抜粋)
 別図 10-2 (2) 基準地震動 S_s-2 の加速度時刻歴波形 (大湊側)



(a) Ss-3H



(b) Ss-3V

(VI-2-1-2 「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」 p175 より抜粋)
 別図 10-2 (3) 基準地震動 S_s-3 の加速度時刻歴波形
 (荒浜側と大湊側で共通)

別表 10-3 解放基盤表面における基準地震動 S_s の継続時間

	継続時間 (sec)
$S_s - 1$	32
$S_s - 2$	108
$S_s - 3$	74
$S_s - 4$	127
$S_s - 5$	127
$S_s - 6$	149
$S_s - 7$	148
$S_s - 8$	20

別表 10-4 地震応答解析モデルの地震動ごとの等価繰返し回数の最大値（基本ケース）

（地震応答解析モデル毎に減衰定数・方向・算出点を包絡した最大の回数）

	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1	一律に 設定する 等価繰返 し回数
地震応答解析モデル	+	+	+	+	+	+	+	+	
	1/3Sd-1×5	1/3Sd-2×5	1/3Sd-3×5	1/3Sd-4×5	1/3Sd-5×5	1/3Sd-6×5	1/3Sd-7×5	1/3Sd-8×5	
	+	+	+	+	+	+	+	+	
	NCO	NCO	NCO	NCO	NCO	NCO	NCO	NCO	
原子炉建屋の 地震応答解析モデル									200
大型機器系の 地震応答解析モデル									
炉内構造物系の 地震応答解析モデル									
タービン建屋の 地震応答解析モデル									
コントロール建屋の 地震応答解析モデル									
廃棄物処理建屋の 地震応答解析モデル									

(3) 柏崎刈羽6号機の地震動の特性を踏まえた保守性の整理

(1)(2)より確認した基準地震動 S_s-1 、 S_s-2 及び S_s-3 における等価繰返し回数及び許容繰返し回数の大小関係と、疲れ累積係数 $UF (=N_e/N_0)$ の算出における今回工認の疲労評価手法を別表10-5に示す。

許容繰返し回数を小さくする地震動が S_s-1 及び S_s-2 であり、等価繰返し回数を大きくする地震動が S_s-3 である。

別表10-5 各基準地震動と今回工認における繰返し回数の整理

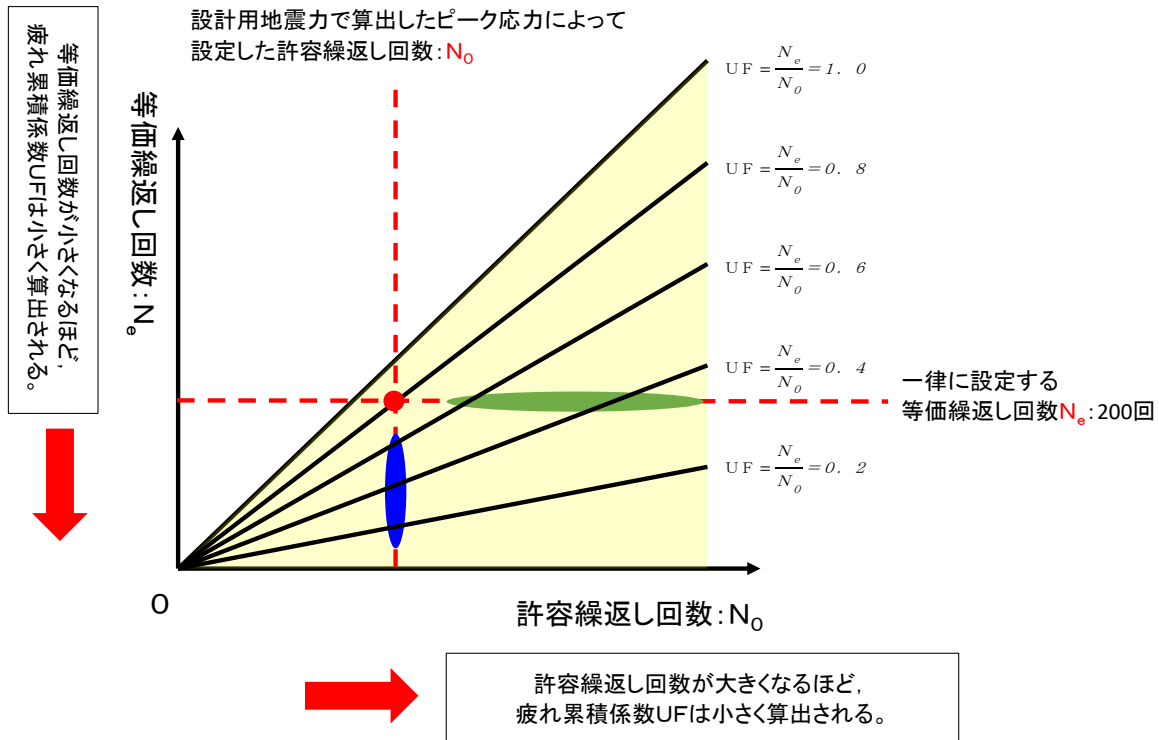
	今回工認における 疲労評価手法	S_s-1 及び S_s-2 を用いて 疲労評価	S_s-3 を用いて 疲労評価
等価繰返し 回数(N_e)	大： S_s-3 が支配的 (一律に設定する等価繰返し回数200回)	小	大
	1 [*]	0.2~0.7 [*]	1 [*]
許容繰返し 回数(N_0)	小： S_s-1 及び S_s-2 が支配的 (設計用地震力Ⅰ又はⅡに基づき算出)	小	大
	1 [*]	1 [*]	1.3~3.4 [*]
疲れ累積係数 ($UF = N_e/N_0$)	1 [*] (=1/1)	0.2~0.7 [*] (=0.2~0.7/1)	0.3~0.8 [*] (=1/3.4~1/1.3)

※：今回工認における各値を1とした場合の基準地震動 S_s-1 、 S_s-2 及び S_s-3 における割合

基準地震動 S_s-3 にて疲労評価を実施した場合、(1)より疲れ累積係数 UF の分母である許容繰返し回数が1.3倍~3.4倍ほどになり疲れ累積係数 UF が小さく算出される。

基準地震動 S_s-1 及び S_s-2 にて疲労評価を実施した場合、(2)より疲れ累積係数 UF の分子である等価繰返し回数が0.2~0.7倍ほどになり疲れ累積係数 UF が小さく算出される。また、この保守性の概要を別図10-3に示す。

以上より、今回工認においては、許容繰返し回数が厳しくなる地震動は基準地震動 S_s-1 及び S_s-2 であるが、一律に設定する等価繰返し回数は、等価繰返し回数の観点で支配的となる S_s-3 系による回数を基に定めていることから保守的な設定と言える。



: $UF = \frac{N_e}{N_0} \leq 1.0$ となり、疲労評価が許容値を満足する領域

: 今回工認の疲労評価手法 $UF = \frac{N_e}{N_0}$

: 基準地震動 S_s-1 及び S_s-2 にて疲労評価を行った場合
(X: 許容繰返し回数は今回工認の疲労評価手法とほぼ同等。
Y: 等価繰返し回数は今回工認の疲労評価手法の0.2~0.7倍ほど)

$$UF_{(S_s-1 \cdot 2)} = \frac{N_e_{(S_s-1 \cdot 2)}}{N_0_{(S_s-1 \cdot 2)}} = \frac{(0.2 \sim 0.7) \times N_e}{N_0} = (0.2 \sim 0.7) \times UF$$

: 基準地震動 S_s-3 にて疲労評価を行った場合
(X: 許容繰返し回数は今回工認の疲労評価手法の1.3~3.4倍ほど。
Y: 等価繰返し回数は今回工認の疲労評価手法とほぼ同等)

$$UF_{(S_s-3)} = \frac{N_e_{(S_s-3)}}{N_0_{(S_s-3)}} = \frac{N_e}{(1.3 \sim 3.4) \times N_0} = \frac{1}{(1.3 \sim 3.4)} \times \frac{N_e}{N_0} = (0.3 \sim 0.8) \times UF$$

別図 10-3 地震動の特性を踏まえた保守性の概要図

5. 一律に設定する等価繰返し回数を用いる疲労評価に含まれる保守性について
 一律に設定する等価繰返し回数を用いる疲労評価対象設備のうち疲れ累積係数UFが大きく疲労評価が厳しい設備について、個別に設定する等価繰返し回数を設定することにより、十分な裕度を有しているか確認する。

5. 1 検討対象設備の抽出

今回工認の疲労評価対象設備のうち、熱+地震及び地震による疲れ累積係数UFが最も大きくなる疲労評価対象設備を代表として抽出する。別表10-6のとおり、熱+地震による疲れ累積係数では主蒸気系配管(MS-002)、及び地震による疲れ累積係数では原子炉補機冷却水系配管(KRCW-208)が最大となる。

別表10-6 疲れ累積係数が最大となる疲労評価対象設備

ケース	設備名称	一律に設定する等価繰返し回数	疲れ累積係数UF
1. 熱+地震で最大のケース	主蒸気系配管 (MS-002)	200回	U+US _s 0.5555 (US _s 0.4742)
2. 地震で最大のケース	原子炉補機冷却水系配管 (KRCW-208)		US _s 0.8965

5. 2 個別に設定する等価繰返し回数の設定による疲れ累積係数UFの再計算
 抽出した疲労評価対象設備について、個別に設定する等価繰返し回数を設定し、疲れ累積係数UFの再計算を行った結果を別表10-7に示す。

別表10-7 疲れ累積係数UFの再計算結果

ケース	設備名称	個別に設定する等価繰返し回数	疲れ累積係数UF [※]
1. 熱+地震で最大のケース	主蒸気系配管 (MS-002)	140回	U+US _s 0.4133 (US _s 0.3320)
2. 地震で最大のケース	原子炉補機冷却水系配管 (KRCW-208)	110回	US _s 0.4931

※ 疲れ累積係数UFの再計算は、再計算前の疲れ累積係数UFと一律に設定する等価繰返し回数200回と個別に設定する回数の比率を用いて算出した。

別表10-7に示す通り、代表として抽出した疲労評価対象設備の工認耐震計算書に記載される疲れ累積係数UFは許容値1に対して余裕が少ないが、等価繰返し回数を個別に設定して疲れ累積係数UFを再計算すると許容値1に対して十分な裕度を有していることを確認した。

6. まとめ

柏崎刈羽6号機の等価繰返し回数算出パラメータについて先行プラントと比較し、弾性設計用地震動S_dの回数を除きほぼ同等であることを確認した。

また、柏崎刈羽6号機の地震動の特性を踏まえた保守性を整理し、疲労評価の観点から許容繰返し回数及び等価繰返し回数が保守的な設定となっていることを確認した。

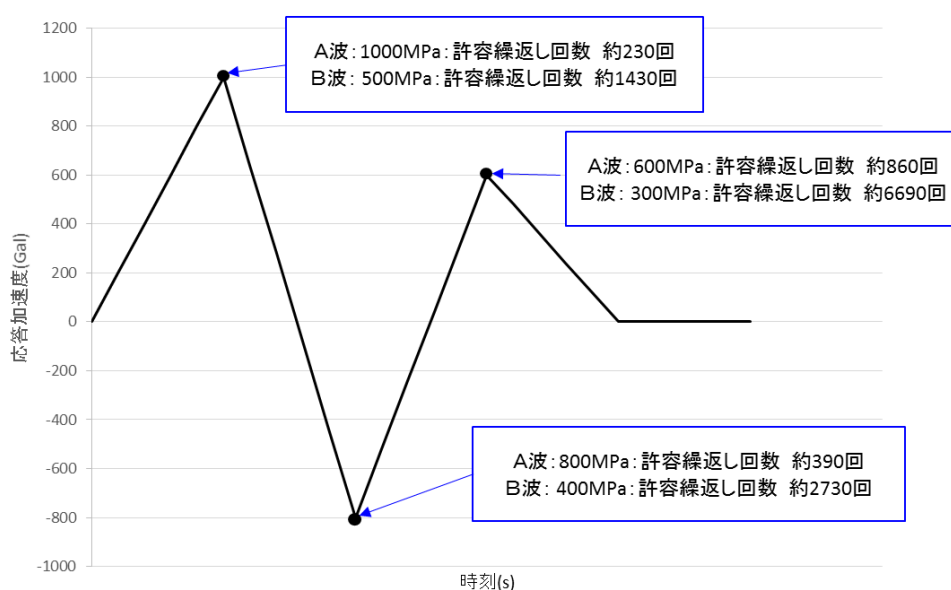
加えて、今回工認において疲れ累積係数UFが最大となる疲労評価対象設備について十分な裕度を有していることを確認した。

以上より、柏崎刈羽6号機における等価繰返し回数の設定は、十分な保守性を有していると考えられる。

別紙 1 1 ピーク応力の大きさと等価繰返し回数の関係について

「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」にてピーク応力の設定値が高くなるほど回数が大きくなる傾向となることが確認されている。本資料ではピーク応力を大きく設定することで、等価繰返し回数が大きく算出され、保守的な設定になることを簡単な例により説明する。

例として、別図 1 1 - 1 に示す応答波形を仮定する。

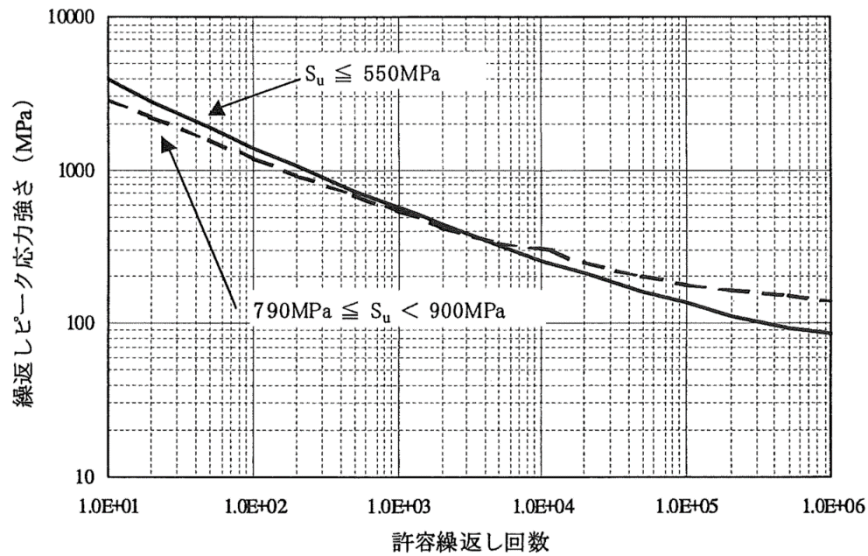


別図 1 1 - 1 1 質点系の時刻歴応答

また、大小2つの応答波は同じ波形であるが、応答振幅が2対1の関係であると仮定し、以下に示す最大ピーク応力を仮定し、それぞれの等価繰返し回数を算出する。なお、別図 1 1 - 1 の各ピーク応力は1 質点系の応答波形に線形比例で設定した。

- ・ A波 : 地震動に対する最大ピーク応力 1000MPa
- ・ B波 : 地震動に対する最大ピーク応力 500MPa

各ピークにおける許容繰返し回数は、別図 1 1 - 2 に示す炭素鋼の設計疲労線図に算出し、その結果を別図 1 1 - 1 に併せて示す。



(J S M E 設計・建設規格より抜粋)

別図 1 1 - 2 設計疲労線図

これにより算出した等価繰返し回数は以下の関係となる。

$$A波の地震動の等価繰返し回数 : \left[\frac{1}{230} + \frac{1}{390} + \frac{1}{860} \right] \times 230 = 1.86$$

$$B波の地震動の等価繰返し回数 : \left[\frac{1}{1430} + \frac{1}{2730} + \frac{1}{6990} \right] \times 1430 = 1.74$$

上記の結果を比較すると、各ピーク応力における許容繰返し回数の差が等価繰返し回数に影響するため、A波の等価繰返し回数が大きくなることが分かる。その許容繰返し回数の差は、別図 1 1 - 2 に示すとおり、ピーク応力が小さくなるにつれて、設計疲労線図の勾配が緩やかになっているため、ピーク応力が低減するほど許容繰返し回数の増加の割合が大きくなっていることによるものである。

以上より、ピーク応力を大きく設定することは、等価繰返し回数が大きく算出されるため、保守的な設定であると言える。

別紙 1 2 等価繰返し回数の算出に用いる地震動の考え方について

1. はじめに

今回工認の等価繰返し回数の算出に用いる地震動は、基準地震動 S_s と NCO に加え、弾性設計用地震動 S_d を $1/3$ 倍した地震動 5 回分を追加している。本資料ではこの考え方を示す。

2. 米国における等価繰返し回数の考え方について

米国における等価繰返し回数設定に係る基準要求を別紙 1 2 - 1 に示す。別紙 1 2 - 1 に示すとおり、NUREG-0800 に定められた Standard Review Plan 3.7.3 Rev. 4 では、プラント供用期間中に SSE ^{※1}地震 1 回 + OBE ^{※2}地震 5 回を想定した疲労評価を行うよう要求がある。地震 1 回あたりの繰返し回数としては、最低 10 回を考慮するよう要求がある (OBE 地震が SSE 地震の $1/3$ 以下に設定される場合は、 OBE 地震による設計評価は不要となる。この場合、疲労評価では SSE 地震 1 回 + OBE 地震 5 回の代わりにプラント供用期間中に想定される地震として SSE 地震 2 回としてもよい。ここでの疲労評価における SSE 地震 2 回は、 SSE 地震 1 回 + OBE 地震 5 回と疲れ累積係数が等価であると考えられる。 SSE 地震 1 回で最大振幅が 10 回繰返すものとする。)

※1 SSE (Safe-shutdown earthquake ground motion) は、その事象の発生時ならび発生後において、原子力プラントが安全停止状態を達成し、維持することが可能とする地震レベル。安全設計に係る SSC (建屋, システム, 機器) は SSE により機能喪失が生じないように設計することが求められる。

※2 OBE (Operating basis earthquake ground motion) は、プラント運転中に起こりうる地震レベル。 OBE 地震を超過する地震発生時には、プラント停止要求がある。

3. 今回工認の等価繰返し回数の算出に用いる地震動について

今回工認における等価繰返し回数の保守性の確保にあたり、基準地震動 S_s に対して地震動を追加する。ここで追加する地震動として、2. の考え方を参考に OBE 地震相当の地震動 5 回分を考える。

OBE 地震に相当する地震動は、 $JEAG 4601 \cdot$ 補-1984 にある地震動 S_0 (地震動が発生した後の運転継続の観点から決められた地震動) が相当すると考えられる (別紙 1 2 - 2 参照)。 $JEAG 4601 \cdot$ 補-1984 においては、この地震動 S_0 は S_1 地震動の $1/3$ 倍程度の大きさとされていることから、 S_1 地震動

を弾性設計用地震動 S d に読替え弾性設計用地震動 S d を 1/3 倍した地震動を用いる。なお、別表 1 2 - 1 のとおり弾性設計用地震動 S d の 1/3 倍は、原子炉非常停止信号である地震加速度大の設定値とほぼ同等となっている。

別表 1 2 - 1 地震加速度大設定値及び弾性設計用地震動 S d の 1/3 倍の比較

T. M. S. L. (m)	地震加速度大 設定値(gal)		(1/3) × S d 最大応答加速度 (gal)	
	水平	鉛直	水平	鉛直
23.500	185 ^{※1}		174 ^{※2}	154 ^{※2}
-8.200	120 ^{※1}	100 ^{※1}	112 ^{※2}	138 ^{※2}

※ 1 : 「柏崎刈羽第 6 号機工事計画認可申請書 4. 計測制御系統施設
6 原子炉非常停止信号, 原子炉非常停止に要する信号及び原子炉非常停止信号を発信させない条件」より引用

※ 2 : VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」における弾性設計用地震動 S d に対する原子炉建屋 T. M. S. L. 23.500 (m) および-8.200 (m) の設計用最大応答加速度を 1/3 倍した値

以上より、米国 SRP の考え方 (SSE 地震 : 1 回分 + OBE 地震 5 回分を考慮して疲労評価) を参考として、基準地震動 S s を 1 回分と既に経験した NCO 地震動に対し、弾性設計用地震動 S d の 1/3 倍の地震動を 5 回分考慮した地震動を用いて、今回工認の等価繰返し回数を設定する。

等価繰返し回数に係る米国基準の整理

米国基準	地震発生回数及び応力振幅回数に関する考え方	
	要求	解釈
<p>10CFR50 Appendix S 米国連邦法であり、行政法の一つ。 10CFRは、エネルギー行政に係る事項を定めている。</p>	<p>①SSE地震は、その事象の発生時ならびに発生後において、原子力プラントが安全停止に係るSSCs（建屋、システム、機器）はSSEにより機能喪失が生じないように設計すること。</p> <p>②OBE地震は、プラント運転中に起こりうる地震レベル。OBE地震を超過する地震事象の発生時には、プラント停止要求がある。</p>	<p>・SSE地震、OBE地震が定義されているが、その発生回数の規定はない。</p> <p>・OBE地震では、プラントは運転継続する。(②)</p>
<p>SRP3.7.3 NUREG-0800によって定められるNRC許認可活動における審査方針を示したもの。 当該章は、機器設計について定める章。</p>	<p>①プラント供用期間中、少なくとも“SSE地震1回+OBE地震5回”の発生を想定する規定がある。地震1回あたりの繰返し回数としては、最低10回を考慮する。</p>	<p>・地震事象としてSSE地震時1回と、OBE地震5回を考慮した疲労評価の実施要求がある。(①)</p>
<p>ASME</p>	<p>①ASMEはDesign Specificationで与えられた設計条件に従い、設計・評価を行う手法を定めた民間規定であることから、地震回数、地震強度に対する要求は無い。</p> <p>②一方、Service Level A,Bの過渡事象に対する疲労評価を実施し、疲れ累積係数UFが1以下となることを求めている。</p>	<p>・OBE地震はService Level Bに区分される(SRP3.9.3)ことから、他の過渡事象と同列に並べて、疲労評価を実施する。</p>

電氣技術指針
原子力編

原子力発電所耐震設計技術指針

重要度分類・許容応力編

JEAG 4601・補-1984

Ⅳ 地震動 S_0 に対する耐震評価

1. 概 要

発電用原子力設備の耐震 A_0 及び A クラスの機器、配管の耐震設計においては、耐震設計審査指針に規定された基準地震動 S_1 、 S_2 に加え、地震動が発生した後の運転継続の観点から決められた地震動 S_0 の導入が原子力安全評価特別委員会許容応力分科会にて提案された。なお、本件に関しては、今後とも検討が必要と考えられる。

ここで、地震動 S_0 の大きさとしては、これを上回らない地震動が発生した場合であっても検査することなく運転継続できる値を設定するとしている。

また、地震動 S_0 に対する耐震評価が必要な場合の許容限界としては、これ以下の地震動が発生しても原子炉を停止することなく運転を継続してゆくこととなるので、告示で規定された運転状態Ⅰ、Ⅱに対する許容応力を限度とすることを原則としている。

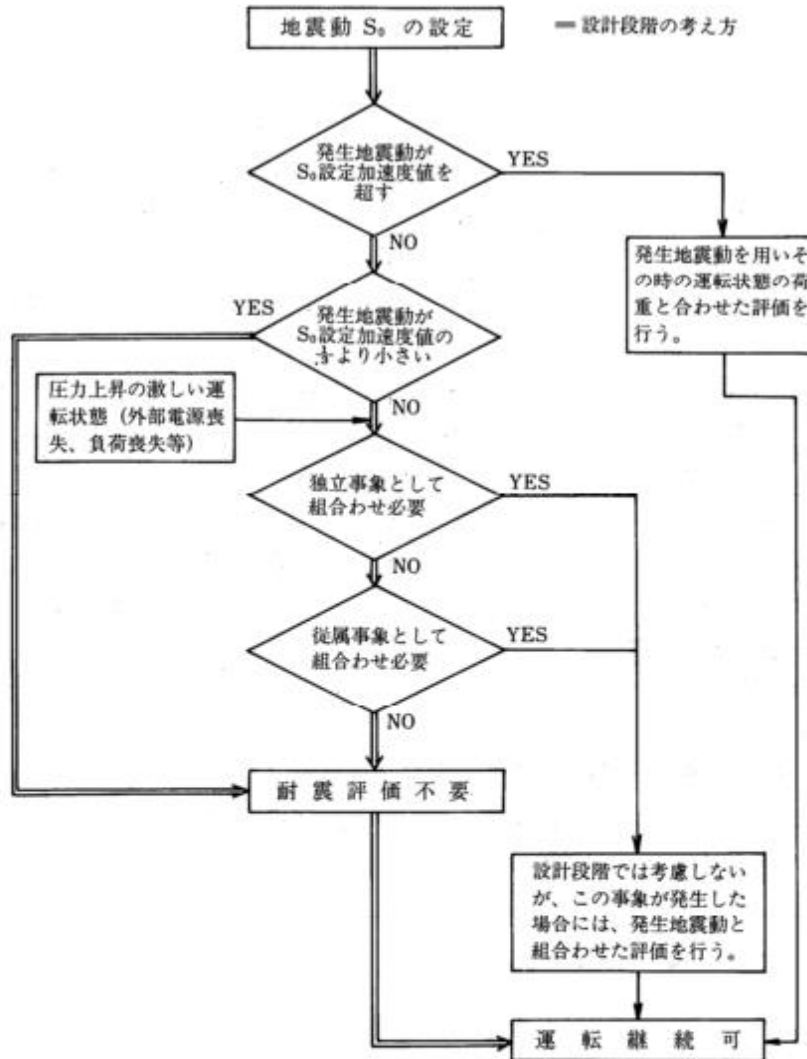
本資料は、この地震動 S_0 についての考え方をまとめたものであり、その大きさを適切な大きさに決めることにより、地震動 S_0 と他の厳しい運転状態の荷重の組合わさった事象が、実際に発生した場合のみに限り評価を行うことをあらかじめ決めておけば、設計段階における地震動 S_0 に対する評価は原則として不要であることを述べている。

次の2項以降にその詳細を示す。

2. 地震動 S_0 に対する耐震評価の考え方

地震動 S_0 については図Ⅳ-1に示すとおりその大きさが次のように決められる場合には設計段階においては耐震評価は原則として不要となる。

図IV-1 地震動 S_0 に対する検討



(1) 地震動 S_0 の大きさ

地震動 S_0 の加速度値は、建築基準法施行令（昭和34年政令第344号）に示された水平震度（水平震度 C_H と略記する）に相当する基準地震動の加速度値と設計に用いる同一地点における複数の基準地震動 S_1 のうち最も大きい最大加速度の $1/n$ の値の小さい方の値とする。

n は今後とも検討が必要であるが、3.に示すように現在の耐震設計上の余裕から考えて、 $n = 3$ とする。

(2) 理由

- a. 地震動 S_0 の加速度値を水平震度 C_H に相当する基準地震動の加速度値以下と決めれば従属事象として外部電源喪失、負荷喪失等は一応起りえないと考えられる。

(添付1参照)

- b. 地震動 S_0 を上記の値より大きい値に決めても水平震度 C_H 相当の地震の発生時には、プラントの安全機能の確認を要求される可能性が大きい。
- c. また、地震動 S_0 の加速度値を基準地震動 S_1 の最大加速度値の $1/n$ 以下としなければ、地震動 S_0 による応力が最高使用圧力と運転状態(圧力上昇の激しい運転状態を除く)の圧力による応力状態の差の裕度の中に入り、かつ疲労についても余裕があるという3の説明が成り立たない。

(3) 実際の地震動 S_0 の加速度値の決め方に関する考え方

サイトにおける水平震度 C_H 相当の基準地震動は、50~60gal程度と考えられる。また、最大加速度値が比較的小さいサイトでは基準地震動 S_1 として180galとなるが、 $n=3$ の場合でも $S_0 = 180/3 = 60$ galとなる。これから地震動 S_0 の加速度値として全国一律に基準地震動として60gal等を決めておくことが望ましい。

3. 耐震A、及びAクラス機器の地震動 S_0 に対する強度の検討

(1) 序

本章では、耐震A₂及びAクラス機器に地震動 S_0 による荷重が加わる場合に発生する応力を基準地震動 S_1 、 S_2 による荷重が加わった場合のものと比較検討することにより、地震動 S_0 を基準地震動 S_1 の何分の1かのある程度以下に適切に設定すれば、基準地震動 S_1 、 S_2 に対し耐震設計を行っている機器では地震動 S_0 については設計段階における評価は不要であることを示している。

(2) 1次応力について

a. 耐圧部の場合

地震動 S_0 は、基準地震動 S_1 若しくは基準地震動 S_2 と異なり、プラント寿命中に、幾度か生じると考えられる地震動であり、したがって、通常運転時に地震動 S_0 が生じた場合の応力は、設計条件の許容応力以下であることが望ましいわけであるが、それでも、地震動 S_0 による応力が常に加わっているわけではない。

一方、最高使用圧力は、耐圧部材にとって、まず第一に考慮しなければならない荷重であり、これによって生じる応力は設計条件の許容応力以下であることが要求される。しかしながら、最高使用圧力が生ずるのは短時間の過渡状態などのごく一時期のみであり、通常運転時の圧力は、最高使用圧力より低い値となっているのがふつうである。

したがって、地震動 S_0 による応力、最高使用圧力による応力、及び通常運転圧力による応力について、次のような二つの組合せを検討すればよいと考えられる。

(ケース1) 最高使用圧力による応力 \leq 設計条件の許容応力

(ケース2) 通常運転圧力による応力

$$+ \text{地震動 } S_0 \text{ による応力} \leq \text{設計条件の許容応力}$$

したがって、次式が満されるならば、地震動 S_0 は考慮しなくてもよいといえることができる。

$$\text{最高使用圧力による応力} \geq \text{通常運転圧力による応力}$$

$$+ \text{地震動 } S_0 \text{ による応力} \dots\dots\dots \text{①}$$

以下の検討においては、1次一般膜応力によって1次応力を代表させ、また、板厚方向の応力は無視し、円周方向応力 σ_t 、軸方向応力 σ_l のみを考え、以下の記号を用いる。

- | | | |
|--|------------------|---|
| P_D = 最高使用圧力 (kg/md) | R = 容器の半径 (mm) | } |
| P^* = 通常運転時圧力 (kg/md) | t = 容器の板厚 (mm) | |
| σ_{t1} = P_D による円周方向応力 (kg/md) | | |
| σ_{t2} = P^* による円周方向応力 (kg/md) | | |
| σ_{l1} = P_D による軸方向応力 (kg/md) | | |
| σ_{l2} = P^* による軸方向応力 (kg/md) | | |
| σ_{l3} = 地震動 S_0 による軸方向応力 (kg/md) | | ② |

(a) 円筒形の耐圧部

①式を②の記号を用いて書き直すと、

$$\sigma_{t1} \geq \sigma_{l2} + \sigma_{l3} \dots\dots\dots \text{③}$$

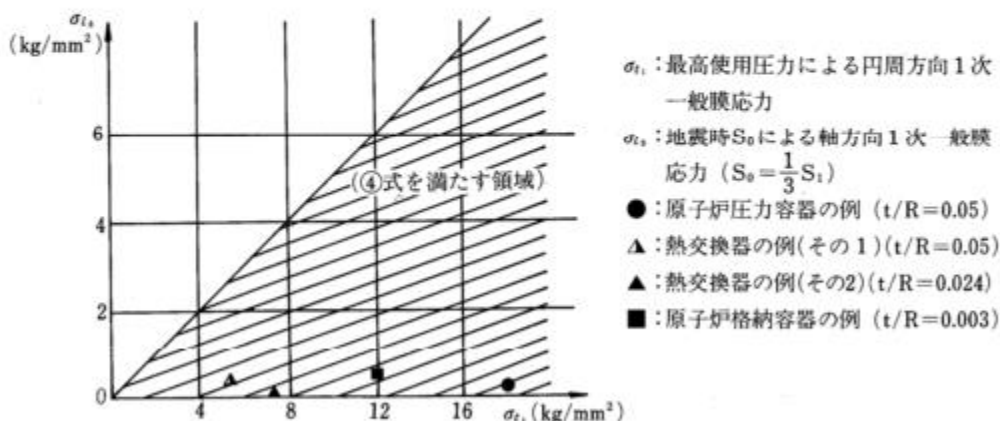
当該容器の1次一般膜応力について③式が満されていれば地震動 S_0 の考慮は不要となる。

さらに、 $P_D = P^*$ と仮定しても③式において $\sigma_{l2} = 0.5 \sigma_{t1}$ となるので、③式は

$$\sigma_{t1} \geq 2 \sigma_{l3} \dots\dots\dots \text{④}$$

④式を図IV-2に示す。

図IV-2 円筒形の耐圧部について地震動 S_0 考慮の要否を検討する図



図IV-2には、実際の原子力発電用機器のいくつかの例が示されている。

この例から明らかなように実際には、④式は、十分な余裕をもって満されている。また、薄肉の(t/Rの小さな)機器ほど④式に対する制限が厳しい傾向がある。

したがって、あるプラントの耐震A_s及びAクラス機器について地震動S₀を設計上考慮しなくてもよいことを示すには、そのプラントの耐震A_s及びAクラス機器のうち、t/Rの小さな順に2、3の機器について、図IV-2の斜線部にあることを確認すれば十分であると考えられる。

(b) 球形の耐圧部

①式を②の記号を用いて書き直すと、

$$\sigma_{t1} \geq \sigma_{i2} + \sigma_{i3} \quad \dots\dots\dots \textcircled{5}$$

原子力発電所において、球形の耐圧部に大きな地震荷重が加わる場合は極めてまれである。したがって、球形の耐圧部に大きな地震荷重が加わる場合には、その機器について、⑤式の成立をチェックすればよい。

b. 非耐圧部の場合

非耐圧部においては耐震設計によって板厚が決定される場合が多い。この場合には、I_AとⅢ_ASの1次応力の許容値の比率を考えてみる必要がある。表IV-1はいくつかの機器の代表的な材料について、この比率を検討したものである。

表IV-1 地震動S₀に対する許容値(設計条件・I_A)と
基準地震動S₁に対する許容値(Ⅲ_AS)の比較

	材 質	I _A の1次応力の 許容値 ①	Ⅲ _A Sの1次応力の許容値 ②	比 率 ②/①
第1種容器	S Q V 2 A	Pm : S _m = 18.8	Pm : Min (S _y , $\frac{2}{3}$ S _u) = 35.0	1.86
第2種容器	S G V 49	Pm : S = 13.4	Pm : Min (S _y , 0.6 S _u) = 27.0	2.01
第3種容器	S T P L 39	Pm : S = 9.8	Pm : Min (S _y , 0.6 S _u) = 21.0	2.14
第1種支持 構 造 物	—	f _t	1.5 f _t	1.5

表IV-1から明らかなように、基準地震動S₁に対する1次応力の許容値は、地震動S₀に対する許容値のせいぜい2倍強であるため、基準地震動S₁の大きさが地震動S₀の大きさの3倍以上であるとすると基準地震動S₁が設計に対して支配的である。

(3) 疲労について

a. 疲労については、応力値の違いによる許容繰り返し回数の差と共に、地震動そのものの回数の差も考えなければならない。

表IV-2は、告示の設計疲労線図をもとに作成したものであるが、地震動S₀が、基準地震動S₁の $\frac{1}{3}$ 程度であれば、基準地震動S₁による応力(これは、1次+2次+ピーク応

力値で片振幅40kg/mdにも達するのは極めてまれなケースである。)に対する許容繰返し回数は、地震動S₀に対する許容繰返し回数に対し、はるかに支配的なことがわかる。

表IV-2 基準地震動S₁地震動S₀による応力の許容繰返し回数の比較
(基準地震動S₁:地震動S₀=3:1のとき)

ケース	基準地震動S ₁		地震動S ₀		$\frac{N_0}{N_1}$	
	応力 (kg/md)	許容繰返し回数, N ₁	応力 (kg/md)	許容繰返し回数, N ₀		
炭素鋼 低合金鋼	1	100	2×10^2	33.3	5×10^3	25
	2	80	4×10^2	36.7	9×10^3	23
	3	60	9×10^2	20	2.8×10^4	31
	4	40	2.5×10^3	13.3	10^5	40
オーステナイト系 ステンレス鋼	5	100	4×10^2	33.3	2.8×10^4	70
	6	80	8.5×10^2	26.7	8×10^4	94
	7	60	2.2×10^3	20	5×10^5	227
	8	40	1.3×10^4	13.3	∞	∞

参考 (基準地震動S₁:地震動S₀=5:1のとき)

ケース	基準地震動S ₁		地震動S ₀		$\frac{N_0}{N_1}$	
	応力 (kg/md)	許容繰返し回数, N ₁	応力 (kg/md)	許容繰返し回数, N ₀		
炭素鋼 低合金鋼	1	100	2×10^2	20	2.8×10^4	140
	2	80	4×10^2	16	7×10^4	175
	3	60	9×10^2	12	2×10^5	222
	4	40	2.5×10^3	8	10^6	400
オーステナイト系 ステンレス鋼	5	100	4×10^2	20	5×10^5	1250
	6	80	8.5×10^2	16	∞	∞
	7	60	2.2×10^3	12	∞	∞
	8	40	1.3×10^4	8	∞	∞

注: "∞"は、告示の設計疲労線図では算定できないことを示す。

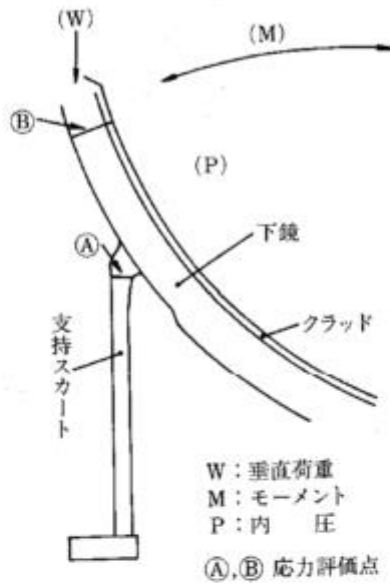
b. 地震動S₀による荷重と過渡状態の応力との重ね合わせの影響

aにおいては、地震動S₀を単独に考慮した場合について述べたが、ここでは過渡状態と組合せる場合について述べる。

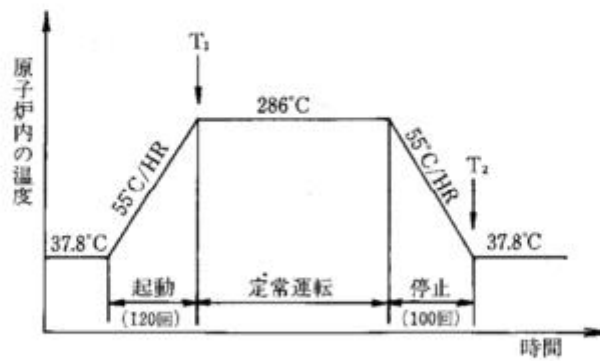
代表例として、原子炉圧力容器スカート部を考える。

図IV-3にスカート部の図を、図IV-4に考慮した過渡状態を示す。

図IV-3 支持スカート及び下鏡



図IV-4 熱サイクル (T_1 , T_2 : 熱応力計算をする時間)



表IV-3に応力計算結果を示す。ただし、表IV-3の中の③項は、基準地震動 S_1 による応力である。表IV-3から、過渡状態における応力は、熱応力が支配的であることがわかる。

今、表IV-3を参考にして、次のようなケースを考える。

(a) 地震を除いた応力変動値……… 0～30kg/m²……… 120回

(b) (a)に地震動 S_0 を加えた応力変動値 …… 0～31kg/m²……… 120回

ケース(a)に対する許容くり返し回数とケース(b)に対する許容くり返し回数にはほとんど差はなく、共に 5×10^4 回程度である。

したがって、過渡状態と地震動 S_0 を重ね合わせた場合にも、一般には地震動 S_0 の影響は小さいと考えられる。

表IV-3 応力計算結果

(単位：kg/m²)

応力 評価点 (注)	機械的荷重による応力					熱荷重による応力		(1次+2次応力)合計			
	P	W	M	合計	平均	T ₁	T ₂	C ₁ =T ₁ +P+W+M	C ₂ =T ₂ +W+M		
	①	②	③	④=①+②+③	⑤	⑥	⑦	⑧=④+⑥	⑨=②+③+⑦		
① 内側	σ_t	4.0	-0.2	-0.6	3.2	$\sigma_t = 4.5$ $\sigma_l = -3.9$ $\sigma_r = 0.0$	-0.8	-3.8	-2.4	-4.6	
	σ_l	-4.3	-0.8	-5.0	-10.1		-28.0	11.0	-38.1	5.2	
	σ_r	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	
	② 外側	σ_t	6.0	-0.2	0.6		6.4	17.0	-9.8	23.4	-9.4
		σ_l	4.3	-0.9	-1.0		2.4	28.0	-11.0	30.4	-12.9
		σ_r	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
③ 内側	σ_t	12.1	-0.1	-0.2	11.8	$\sigma_t = 11.8$ $\sigma_l = 11.2$ $\sigma_r = -0.5$	-2.0	2.0	9.8	1.7	
	σ_l	12.1	-0.4	-0.5	11.2		-2.0	2.0	9.2	1.1	
	σ_r	-0.9	0.0	0.0	-0.9		0.0	0.0	-0.9	0.0	
	④ 外側	σ_t	12.0	-0.1	-0.2		11.7	2.0	-2.0	13.7	-2.3
		σ_l	12.0	-0.4	-0.5		11.1	2.0	-2.0	13.1	-2.9
		σ_r	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.1	0.0

注： σ_t ：円周方向応力
 σ_l ：軸方向応力
 σ_r ：半径方向応力