

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震機電19 R3
提出年月日	令和3年 <u>8</u> 月 <u>3</u> 日

設工認に係る補足説明資料

耐震設計の基本方針に関する
機電設備の耐震計算書の作成について

目次

1. 概要	1
2. <u>耐震計算書全体に関する記載方針</u>	2
2.1 <u>引用する基本方針の記載方法について</u>	2
2.2 <u>耐震計算書の記号及び数値の丸め方等の扱いについて</u>	3
2.3 <u>参考文献の参照方法</u>	3
3. <u>耐震計算書の個別項目に関する記載方針</u>	3
3.1 <u>耐震計算書の分類方法</u>	3
3.2 <u>耐震計算書の構成</u>	4
3.3 <u>耐震計算書個別に記載する項目</u>	4
3.4 <u>代表設備及び代表以外の設備の記載について</u>	5
3.5 <u>各項目の記載内容</u>	6

別紙 先行発電プラントにおける記載項目との違いについて

添付資料－1 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書

(Aパターンの耐震計算書記載例)

添付資料－2 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書

(Bパターンの耐震計算書記載例)

添付資料－3 計算書作成の基本方針において地震応答解析が説明されている設備


(Cパターンの耐震計算書記載例)


添付資料－4 標準支持間隔の記載例

(Dパターンの耐震計算書記載例)

添付資料－5 機能維持評価のみを確認する設備

(Eパターンの耐震計算書記載例)

 : 後次回申請において提示

 : 商業機密の観点から公開できない箇所

1. 概要

本資料は、再処理施設、廃棄物管理施設、MOX 燃料加工施設の設計基準対象施設及び再処理施設、MOX 燃料加工施設の重大事故等対処施設（以下、「再処理事業所」という。）に対する機電設備の耐震計算書作成方針を補足説明するものである。

ここでは、再処理事業所の膨大な物量である耐震性に関する計算書（以下、「耐震計算書」という。）作成において、記載程度の整合を目的とした作成の手引きを示す。

耐震計算書の手引き作成に当たっては、設備形状によらず耐震計算全体に関連する「引用する基本方針」等の項目と個別の設備形状に応じた「概要」、「評価方針」等の項目があるため、これら2つの記載方法について設定する。

なお、このうち個別の設備形状に応じた項目については、設備形状が同形状の場合、記載内容は類似した内容となるため、類型化を活用した設備形状ごとのパターン化を行い、パターン毎に各項目の具体的な記載内容を設定する。

第1回申請においては、申請設備全体に関する計算書の構成及び共通的な記載項目を示し、第1回申請設備である安全冷却水B冷却塔及び配管標準支持間隔が該当するパターンの具体例を添付資料に示す。それ以外のパターンの記載内容は後次回申請時に示す。

2. 耐震計算書全体に関する記載方針

耐震計算書の記載の構成としては、耐震評価に対する概要、評価方針等に記載する基本方針の引用元、記号及び数値の扱い、数値等の出典元となる参考文献の記載の仕方は耐震計算書全体に係る内容として共通的に記載する部分となり、設備構造の説明、評価内容等、個別の設備形状に応じて記載する部分がある。

本項では、耐震計算書全体の共通的に記載する内容の記載方法を示し、個別の設備形状に応じた内容の記載方法については3項に示す。

<共通的な事項>

- 引用する基本方針の記載方法
- 記号及び数値の扱い
- 参考文献の参照方法

2.1 引用する基本方針の記載方法

添付書類「IV 耐震性に関する説明書」に示す基本方針のうち、耐震評価に用いる基本方針としては以下が該当し、耐震計算書に記載する内容として、基本方針と紐づけた記載をするためそれらの実施方法を示す。

第2.1-1表 第1回申請設備の耐震計算書において基本方針と紐づける内容

<u>耐震計算評価に用いる基本方針</u>	<u>基本方針と紐づける内容</u>
<u>耐震設計の基本方針</u>	<u>耐震評価に関する全体方針、適用規格</u>
<u>機能維持の基本方針</u>	<u>荷重の組合せ、許容限界</u>
<u>機器の耐震性に関する計算書作成の基本方針</u>	<u>数値の丸め方、計算精度、計算方法</u>
<u>配管系の耐震性に関する計算書作成の基本方針</u>	
<u>配管の耐震支持方針</u>	<u>計算方法</u>

耐震計算書において、第2.1-1表に示す各内容について基本方針と紐づけを行う場合、以下の対応をする。

(1) 耐震評価に関する全体方針

適用する基本方針を呼び込んだうえで、該当する項目を記載する。

(2) 荷重の組合せ、許容限界、数値の丸め方、計算精度、計算方法

適用する基本方針を呼び込んだうえで、該当する項目を記載する。

(3) 適用規格

「耐震設計の基本方針」に示す適用規格のうち、各設備において用いる適用規格を記載する。

2.2 耐震計算書の記号及び数値の丸め方等の扱いについて

耐震計算書の記号及び数値の扱いについては、「機器の耐震性に関する計算書作成の基

本方針」及び「配管系の耐震性に関する計算書作成の基本方針」に記載しているため、計算書に記載する数値は耐震計算書全体が統一的となるよう設定した数値の丸め方を適用する。

2.3 参考文献の参照方法

参考文献の参照方法として、既往研究による成果等を引用する場合は、耐震計算書中で参考文献を引用した箇所が分かるように注記を記載し、記載内容としては研究名称等及び年度までを記載する。

3. 耐震計算書の個別項目に関する記載方針

耐震計算書の個別項目に関する記載方針としては設備ごとに設定するが、各設備の評価については基本方針に基づいた評価を実施していることから、設備形状ごとに記載内容は類似した設備形状の記載内容は同様の記載となるため、パターン化を行った上で対応を行う。

類似する設備形状の整理としては、補足説明資料 耐震機電07「機器、配管系の類型化に対する分類の考え方」（以下、「類型化資料」という。）において地震応答解析や評価手法等が類似する設備形状ごとの分類を行っているため、本分類を活用のうえ設備形状に応じた耐震計算書の記載内容についてパターン化を行い、各パターンにおける項目ごとの具体的な記載内容を示す。

3.1 耐震計算書の分類方法

耐震計算書は設備形状に応じた計算式から構成されるため、類型化を行った分類と類似したパターンとなるが、一部異なるパターンがある。一部異なるパターンの理由としては、類型化の分類が違えども計算結果のみが異なるパターンは耐震計算書としての構成が同一となるものがある。

また上記以外のパターンとして、固有周期等の算出過程までが異なるような設備については計算書の記載方法が異なるため、パターン化に当たっては、これらの傾向を踏まえたパターン化を行う。

これらを踏まえ、耐震計算書構成の観点からパターン化すると以下のとおりとなる。

<類型化資料における分類>

- 定型式による評価を行う設備
- FEM等を用いた応力解析による評価を行う設備
- 標準支持間隔による評価を行う設備
- 配管多質点系はりモデルによる評価を行う設備

- 可搬型設備

定型式による評価を行う設備及び配管多質点系はりモデルによる評価を行う設備は、いずれも設備個別の諸元、計算結果以外は全て添付書類「計算書作成の基本方針」等の基本方針を引用する構成であるため、構成としては同様の1パターンとする。

また、定型式の評価において、固有周期を振動試験で求める設備と計算式で求める設備があり、算出家庭が異なるため、計算式のパターンとしては耐震計算書の構成としてはそれぞれパターンを分ける必要がある。

それ以外の分類であるFEM等を用いた応力解析による評価を行う設備、標準支持間隔による評価を行う設備、可搬型設備は、算出過程までが同一であるため、耐震計算書の構成としては上記分類と同一となる。

よって耐震計算書の構成としては5パターンとなる。

3.2 耐震計算書の構成

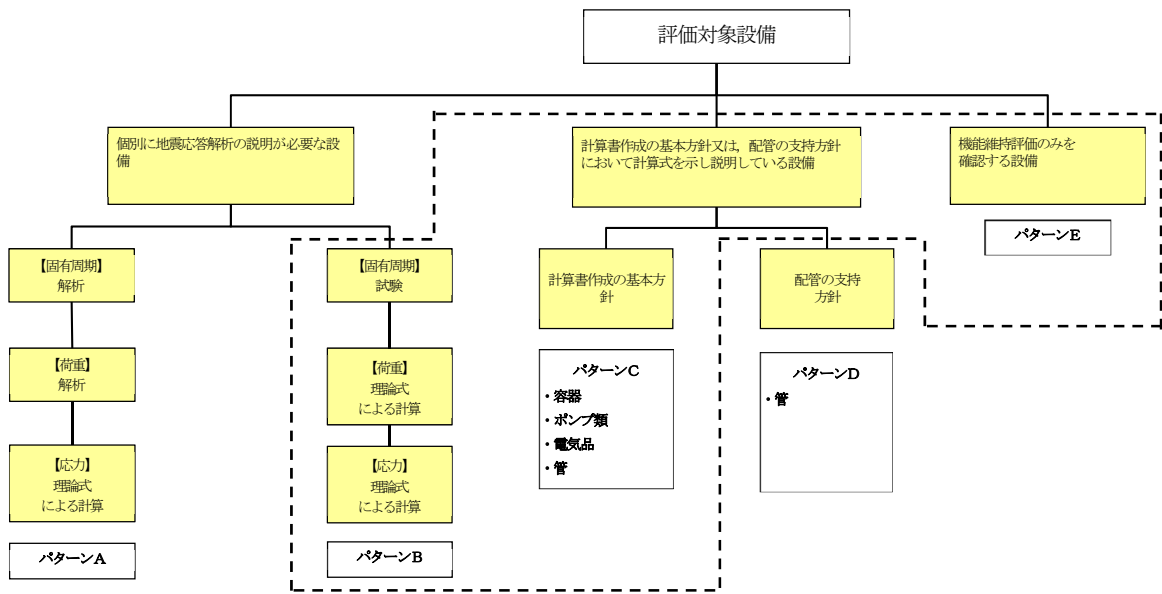
これら5パターンの耐震計算書に対する全体構成としては、構造強度評価の添付書類、その他スロッシング評価等の添付書類別紙、影響評価等の添付書類別添に示す内容があるため、これらの耐震計算書の構成を示す。

3.3 耐震計算書個別に記載する項目

具体的な記載内容としては、計算書のパターンはA～Eのいずれのパターンであっても計算結果を示すために必要な記載項目としては「概要」、「構造の説明」、「評価方針」、「評価内容」の4項目になる。

なお、補強設備等の固有の設備において詳細な内容を記載する場合については、個別の内容について記載する。

これらを踏まえた耐震計算書の構成について第3.3-1図示す。



パターン	A 添付資料-1 参照	B 添付資料-2 参照	C 添付資料-3 参照	D 添付資料-4 参照	E 添付資料-5 参照
該当設備 (例)	〇〇〇冷却塔			標準支持間隔	
規格基準 要求	1. 概要・・・・・・・・① 2. 構造の説明・・・・・・・・② 3. 評価方針・・・・・・・・③ 3.1 評価条件 3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3.3 計算方法 4. 個別設備の評価内容・・・・④ 4.1 解析モデル 4.2 設計条件 4.3 機器要目 4.4 結論			1. 概要・・・・・・・・① 2. 直管部の支持間隔 (評価内容) ・⑥ 2.1 解析モデル 2.2 解析方法 2.3 解析条件 2.4 解析結果	
構造強度以外 の評価結果* (添付書類 別紙)	5. 構造強度以外の評価内容・・・・⑤ ・機能維持評価 ・地震時臨界安全 ・スロッシング・・・等				
影響評価	影響評価結果* (添付書類の別添にて示す) 1. 耐震性に関する影響評価内容 ・材料物性のばらつきによる影響評価・・・等				

※ 評価が必要となる場合のみ記載

[- - -]: 後次回申請において提示

第3.3-1図 機電設備耐震計算書の各パターンと計算書の構成

3.4 代表設備及び代表以外の設備の記載について

これら各パターン化した耐震計算書の示し方は類型化を活用していることから、代表設備と代表以外の設備で記載が異なり、共通的な内容を基本方針又は代表設備の耐震計算書に示し、代表以外の設備の耐震計算書には、代表設備における添付書類番号及び資料名称

を記載し代表設備の記載を呼び込む。

3.5 各項目の記載内容

耐震計算書において記載する各項目に対する記載目的及び記載内容について示す。

なお、第3.3.-1図に示す丸番号について同一の番号で示しているものは各パターン共通の内容を示し、共通とならない記載内容は個別の丸番号により識別する。

(1) 「①概要」について

「概要」は、評価の前提条件となる基本方針及び評価対象設備の耐震評価内容について説明することを目的としている。

- ・基本方針上に計算式を示している設備の「概要」については、基本方針に共通的な概要を示していることから、各計算書にて基本方針から引用する旨を記載する。

(2) 「②構造の説明」について

「構造の説明」では、評価対象設備について、類型化における代表設備及び代表以外の設備の共通となる構造の概要を記載し、それぞれの設備固有の構造については④個別設備の評価内容のうち解析モデルに記載する。

(3) 「③評価方針」について

「評価方針」では、設備の耐震性に対する評価の条件や計算方法など、耐震評価結果を示すにあたっての評価方針として、以下の項目について記載する。

- ・評価方針

評価方針では、耐震評価において実施する項目を簡潔に記載する。

- ・評価条件

評価条件では、耐震評価に用いる設計用地震力について、引用する基本方針の資料名称を記載したうえで、基本方針に基づくことを記載する。

- ・荷重の組合せ及び許容応力

荷重の組合せ及び許容応力では、荷重の組合せ及び許容応力について、引用する基本方針の資料名称及び適用する許容応力の設備分類名（容器等）を記載したうえで、基本方針に基づくことを記載する。個別の設備に応じて考慮する場合は、その内容について記載する。

- ・計算方法（記号の説明を含む）

計算方法では、引用する基本方針の添付書類名称及び引用箇所を記載したうえで、耐震評価における計算方法として、記号の説明、荷重や応力の計算方法を記載する。

なお、パターンによって計算式の示し方が異なるため、それぞれのパターンに応じて記載内容を適宜修正する。

(4) 「④個別設備の評価内容」について

「④個別設備の評価内容」では、個別設備に対する解析モデル、設計条件、機器要目、結論の項目で記載することとし、それぞれ以下の内容について記載する。

なお、複数の設備に対して一つの計算書に複数設備の評価結果を代表設備の結果で示す場合は、その代表選定の考え方について記載する。

- ・解析モデルでは、②構造の説明において示していない、代表設備と代表以外の設備で異なる設備固有の構造に対する説明及び、各設備の以下の内容について記載する。
 - － 概要図又は構造図により、主体構造から支持構造物、据付部（ボルト、溶接部）に至るまでの構造について記載し、耐震評価を行う部位について記載する。
 - － 据付ボルトが後施工の場合は、概要図又は構造図にアンカの種類（メカニカルアンカ、ケミカルアンカ）を記載し、支持部が溶接の場合は溶接であることが分かるように溶接線を記載する。
- ・波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備に対しては、各設備の配置概要を説明する。
- ・解析モデルでは、設備固有の構造に対するモデル化の考え方、解析モデル、解析モデル諸元について記載する。

なお、モード図については、卓越する振動モードの特定が必要となる場合に解析モデルと合わせて記載する。

- ・設計条件では、評価対象設備の耐震評価における設計条件、設備要目について示すことを目的とし以下の内容について記載する。
 - － 設計条件には、耐震重要度分類、設計用地震動、温度圧力条件、固有周期の算出結果について記載する。
 - － 設備要目には、構造寸法、材料、重量、断面特性等について記載する。

- ・結論では、評価部位に対する算出応力及び許容応力について記載する。

評価目的（「設計規準評価」や「重大事故評価」など）及び、評価目的に対応する結論（「構造強度を有していることを確認した」や「波及的影響を及ぼさないことを確認した」など）について記載する。

(5) 「⑤構造強度以外の評価内容」について

構造強度以外の地震に対する健全性については耐震計算書別紙に示す。

a. 機能維持評価*

・機能維持評価については規格基準の機能確認済み加速度との比較を行った場合については出典元を記載する。また試験による機能確認済み加速度を用いた場合は試験結果の出典元を記載する。

・機能維持評価について詳細評価を行う場合は、機能維持評価の項を作成し、構造強度と同じ構成として概要、構造の説明、計算方法及び評価結果までを計算書に記載する。

b. スロッシング評価

・別途記載

c. 地震時臨界安全性評価

・別途記載

記載内容の詳細については後次回申請時に示す。

(6) 「⑥直管部の支持間隔（評価内容）」について

配管の支持方針に記載される標準支持間隔は耐震計算書と構成が異なり、下記の項目を記載する。

「直管部の支持間隔」では、配管の標準支持間隔に対する算出の条件や計算方法など評価方針について、以下の項目について記載する。

・解析モデル

解析モデルでは、モデル化方法を記載する。

・解析方法

解析方法では、標準支持間隔算出における応力算出の方法を記載する。

・解析条件

解析条件では、標準支持間隔における条件及び結果として以下の内容について記載する。

配管設計条件には、標準支持間隔の算定に必要な配管設計条件（口径、板厚、圧力、重量、材質、温度、比重）を記載する。

階層の区分には、標準支持間隔の適用する床面レベルを記載する。なお、解析に使用する設計用地震力は、床面レベルの床応答曲線を複数階層包絡又は階層ごとに適用する。

・解析結果

解析結果では、解析条件をもとに計算した直管部標準支持間隔及び応力の解析結果を

示す。

先行発電プラントにおける記載項目との違いについて

1. 概要

先行発電プラントでは対象設備に対する個々の計算書において、全ての記載項目に対して説明内容を記載している。

一方、再処理施設における耐震計算書の記載項目としては、類型化を活用した耐震計算書とすることにより、代表設備に対する耐震計算書では概要、構造の説明、評価方針や応力計算方法などの項目に対し共通となる内容を記載し、代表以外の設備に対する計算書は、設備固有の情報及び評価結果のみを示す構成とすることから、耐震計算書は先行発電プラントのものに対し、記載する項目は基本的には同じであるが、構成は異なる。

従って、各分類について記載項目の違いについて本紙に纏める。

2. 機電設備における記載項目の違い

先行発電プラントと当社構成の比較について、第2.-1表に示す。

第2.-1表のとおり、先行発電プラントにおいて耐震計算書にて示している項目に対し、再処理施設の耐震計算書での構成が異なる項目について、その理由や代替の提示方法について以下に示す。

- 基本方針を引用することにより、耐震計算書との重複記載を行わない項目
適用基準、計算精度と数値の丸め方、評価部位、地震応答解析及び構造強度評価方法、荷重の組合せ及び許容応力、引用文献
- 他の示し方により、耐震計算書の項目として記載しない項目
固有周期は計算書の項目として示すのではなく、「個別設備の評価内容」の設計条件の項目の中に含めて記載する。なお、基本方針に示す定型式を用いた機器では、鉛直方向剛性が水平方向に比べて高いことから、耐震計算書に示す固有周期は支配的となる固有周期として、水平方向の固有周期を示し、各基本方針に示す定型式の代表に対する鉛直方向の固有周期と水平方向の固有周期の関係について本資料の別添にて示す。

次項に先行発電プラントの耐震計算書における記載項目に対し、再処理施設における耐震計算書では他の示し方をもって耐震計算書の記載項目に展開している具体例を示す。

第2.-1表 先行発電プラントと当社における計算書構成の比較

先行発電プラントの計算書構成		再処理施設の計算書	
項目	記載内容	先行発電プラントにおける計算書の記載内容を示す項目	
1. 概要	概要	1. 概要	
2. 一般事項	構造計画	2. 構造の説明	4. 個別設備の評価内容 (解析モデル)
	評価方針	3. 評価方針	
	適用基準	3. 評価方針	(評価条件)
	記号の説明	3. 評価方針	(計算方法)
	計算精度と数値の丸め方	3. 評価方針	(評価条件)
3. 評価部位	評価部位	4. 個別設備の評価内容	(解析モデル)
4. 地震応答解析及び構造強度評価	地震応答解析方法	3. 評価方針	(評価条件)
	荷重の組合せ及び許容応力	3. 評価方針	(荷重の組合せ及び許容応力)
	解析モデル及び諸元	4. 個別設備の評価内容	(解析モデル, 要目)
	固有周期	4. 個別設備の評価内容	(設計条件)
	設計用地震力	3. 評価方針	(評価条件)
	計算方法	3. 評価方針	(計算方法)
	計算条件	4. 個別設備の評価内容	(設計条件)
応力の評価	3. 評価方針	(計算方法)	
5. 評価結果	評価結果	4. 個別設備の評価内容	(結論)
6. 動的機能維持	基本方針	5.1 概要	
		5.3 評価方針	
	評価部位	5.2 構造の説明	
	評価基準	5.3 評価方針	(荷重の組合せ及び許容応力)
	評価方法	5.3 評価方針	(計算方法)
	評価結果	5.4 評価結果	

■ : 先行発電プラントと同様の示し方を行う項目

2.1 「一般事項」について

先行発電プラントにおける「一般事項」では、配置概要（波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備のみ記載）、構造計画、評価方針、適用基準、記号の説明、計算精度と数値の丸め方を記載し、耐震計算書における全体ストーリーを説明することを目的としている。

再処理施設における耐震計算書では、適用基準、計算精度と数値の丸め方について、それぞれを記載している基本方針を引用し、その旨を「評価方針」の中の計算方法の項目に記載している。

また、評価方針、記号の説明は同等の内容を「評価方針」に記載している。

なお、配置概要（波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備のみ記載）、構造計画については、設備固有の内容であることから、「個別設備の評価内容」の中の解析モデルの項目に設備の構造図と合わせて記載しており、先行発電プラントにて記載のある項目

に対し、他の示し方として耐震計算書の項目に展開している。

2.2 「評価部位」について

先行発電プラントにて記載のある「評価部位」については、耐震評価を行う部位を明確にすることを目的としており、構造計画で示した部位に対し、評価対象を選定している理由及び複数の評価対象に対して代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価の上代表として記載するなど）の概要を記載している。

再処理施設では、耐震計算書の「個別設備の評価内容」の中の解析モデルの項目に評価対象を選定している理由、評価部位を記載しており、併せて構造の説明、モデル化の考え方についても記載している。

なお、複数の設備に対して一つの計算書に複数設備の評価結果を代表設備の結果で示す場合の代表選定の考え方については、「個別設備の評価内容」の中の解析モデルの項目に代表選定の考え方を記載することから記載程度は同等となっている。

2.3 「地震応答解析及び構造強度評価」について

先行発電プラントにて記載のある「地震応答解析及び構造強度評価」については地震応答解析、構造強度評価の方法及びそれらに使用する情報を記載することを目的に地震応答解析及び構造強度評価方法、荷重の組合せ及び許容応力状態、許容応力、使用材料の許容応力、設計用地震力、解析モデル及び諸元、固有周期、計算方法（応力）、計算条件（応力）、応力の評価を記載している。

このうち、地震応答解析、構造強度評価は各々詳細展開されており、地震応答解析では、地震応答解析方法、設計用地震力、解析モデル諸元、計算方法、応答解析結果を記載している。

再処理施設における耐震計算書では、地震応答解析方法及び設計用地震力については、基本方針にて示していることから、「評価方針」において引用する基本方針を記載する。

また、計算方法については、「評価方針」の中に記載しており、解析モデル諸元、応答解析結果については「個別設備の評価内容」の解析モデルの項目に記載している。

この他に、固有周期については固有値の求め方及び固有値を記載することを目的としており、解析モデルを用いて固有値を算出する場合において、固有値解析方法（適用するモデル）、解析モデル及び諸元、固有値解析結果を記載している。

再処理施設における耐震計算書では、設備固有の内容として「個別設備の評価内容」の中の解析モデルの項目に適用するモデル（3次元 FEMモデル等）、解析モデル図及びモデル

諸元について記載しており，固有値解析結果は物性値と併せて「個別設備の評価内容」の設計条件の項目に記載する。

2.4 「動的機能維持評価」について

先行発電プラントにて記載のある「動的機能維持評価」については，基本方針，評価部位，評価基準値において評価対象部位に対する評価内容（応力，変位，面圧等），許容値について記載している。

また，評価方法，評価結果においては，評価に使用する計算式，計算結果を記載している。

再処理施設における耐震計算書では，概要，構造の説明，評価方針（評価条件，荷重の組合せ及び許容応力）に評価対象部位に対する評価内容，許容値について記載している。

また，評価方針（計算方法），評価結果に使用する計算式，計算結果が記載しており，記載程度は同等となっている。

3. 標準支持間隔における記載項目の違い

先行発電プラントと当社構成の比較について，第3.-1表に示す。

先行発電プラントにて記載のある項目について，記載位置は異なるが項目ごとの記載程度は同等となっている。

第3.-1表 先行発電プラントと当社における計算書構成の比較（標準支持間隔）

先行発電プラントの計算書構成※1		再処理施設の計算書※2	
項目	記載内容	先行発電プラントにおける計算書の記載内容を示す項目	
1. 応力を基準とした標準支持間隔法	概要	1. 概要	
2. 直管部の支持間隔	解析モデル	2. 直管部の支持間隔	解析モデル
	解析方法		解析方法
	解析条件		解析条件
3. 標準支持間隔	直管部標準支持間隔		解析結果

※1 基本方針上の本文にて記載

※2 基本方針上の別紙にて記載

■：先行発電プラントと同様の示し方を行う項目

個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(Aパターンの耐震計算書記載例)

添付資料-1

個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(Aパターンの耐震計算書記載例)

IV○○○○

○○冷却塔の耐震計算書

目 次

1. 概要	1
2. 構造の説明	1
3. 評価方針	1
3.1 評価条件	1
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	2
3.3 計算方法	3
4. <u>○○○冷却塔</u>	9
4.1 <u>解析モデル</u>	9
4.2 <u>設計条件</u>	15
4.3 <u>機器要目</u>	16
4.4 <u>結 論</u>	17
5. ○○○冷却塔動的機能維持評価	18
5.1 機能維持評価の概要	18
5.2 機能維持評価の構造の説明	18
5.3 機能維持評価方針	18
5.4 機能維持評価結果	21

1. 概要

本資料は、添付書類「IV-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、〇〇〇冷却塔の耐震性についての計算方法と計算結果を示すものである。

代表以外の設備の場合は、代表設備が示される添付書類名称を記載する。

2. 構造の説明

[Redacted text]

3. 評価方針

冷却塔の耐震評価では、解析により固有周期を求め、解析モデルを用いた地震応答解析を行ったのち応力評価を行う。

3.1 評価条件

評価条件は、添付書類「IV-1-1-8 機能維持の基本設計方針」に従い、評価に用いる設計用地震力、耐震設計上の重要度分類を「4.2 設計条件」にて示す。

なお、適用規格・基準については第3.1-1表に示す。

第 3.1-1 表 適用規格・基準表

規格・基準名	
原子力発電所耐震設計技術指針	JEAG4601-1987
原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編	JEAG4601-1987・補・1984
原子力発電所耐震設計技術指針	JEAG4601-1991 追補版
建築基準法・同施行令	
発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版を含む))	
<第 I 編 軽水炉規格>	JSME S NC1-2005/2007

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付書類「IV-1-1-8 機能維持の基本設計方針（②配管類，⑤支持構造物）」に基づき設定する。

本設備は屋外に配置される設備であることから，下記に示す積雪及び風荷重を考慮する。

考慮する荷重については、添付書類「IV-1-1-8 機能維持の基本設計方針」第3.-3表に基づき設定する。

(1) 積雪荷重

屋上のルーバ及び歩廊上に積雪荷重を考慮する。

(2) 風荷重

風圧力による荷重は，建築基準法施行令第87条及び平成12年建設省告示第1454号に従い，地表面粗度区分Ⅱ，地方の区分に応じて定められた風速34m/s及び建屋形状を考慮して算出した風力係数Cを用いて算出する。

$$W_w = q \cdot C \cdot A$$

ここで，

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_0^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G_f$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H > Z_b \text{ より})$$

W_w : 短期風荷重 (N)

q : 速度圧 (N/m²)

C : 風力係数

A : 風向に垂直な面に投影した面積

E' : 速度圧の高さ方向の分布を示す係数 (平12建告第1454号による)

E_r : 平均風速の高さ方向の分布係数

G_f : ガスト影響係数 ($G_f = 1.0$)

V_0 : その地方における基準風速 (平12建告第1454号により, 34 [m/s])

H : 建築物の高さと軒の高さとの平均 (m)

Z_b : 地表面粗度区分に応じたパラメータ ($Z_b = 5$ [m])

Z_G : 地表面粗度区分に応じたパラメータ ($Z_G = 350$ [m])

α : 地表面粗度区分に応じたパラメータ ($\alpha = 0.15$)

3.2.2 許容応力

許容応力は、添付書類「IV-1-1-8 機能維持の基本設計方針（②配管類，⑤支持構造物）」に基づく。

3.3 計算方法

耐震計算は、添付書類「IV-1-2-1 機器の耐震性に関する計算書作成の基本方針」に基づく。

3.3.1 記号の説明

記号	表 示 内 容	単 位
A	支持架構部材の全断面積	mm ²
A _b	原動機、管束等の取付ボルトの軸断面積	mm ²
A _{ab}	支持架構柱脚部基礎ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _P	ファン駆動部の振動による震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D _o	伝熱管の外径	mm
E	支持架構部材の縦弾性係数	MPa
F	「JSME S NC1」SSB-3121.1(1)に定める値 ただし、「S _y 」及び「S _y (RT)」を「1.2S _y 」及び「1.2S _y (RT)」と読み替える	MPa
F _a	支持架構柱脚部(1ヶ所当り)に作用する最大引抜き力	N
1.5f _t '	支持架構部材の許容引張応力	MPa
1.5f _s '	支持架構部材の許容せん断応力	MPa
1.5f _c '	支持架構部材の許容圧縮応力	MPa
1.5f _b '	支持架構部材の許容曲げ応力	MPa
1.5f _t '*	支持架構部材の許容引張応力 ただし、「S _y 」及び「S _y (RT)」を「1.2S _y 」及び「1.2S _y (RT)」と読み替える	MPa
1.5f _s '*	支持架構部材の許容せん断応力 ただし、「S _y 」及び「S _y (RT)」を「1.2S _y 」及び「1.2S _y (RT)」と読み替える	MPa
1.5f _c '*	支持架構部材の許容圧縮応力 ただし、「S _y 」及び「S _y (RT)」を「1.2S _y 」及び「1.2S _y (RT)」と読み替える	MPa
1.5f _b '*	支持架構部材の許容曲げ応力 ただし、「S _y 」及び「S _y (RT)」を「1.2S _y 」及び「1.2S _y (RT)」と読み替える	MPa

記号	表 示 内 容	単 位
1.5f _{to}	ボルトの許容引張応力	MPa
1.5f _{so}	ボルトの許容せん断応力	MPa
1.5f _{to} *	ボルトの許容引張応力 ただし、「Sy」及び「Sy(RT)」を「1.2Sy」及び「1.2Sy(RT)」と読み替える	MPa
1.5f _{so} *	ボルトの許容せん断応力 ただし、「Sy」及び「Sy(RT)」を「1.2Sy」及び「1.2Sy(RT)」と読み替える	MPa
1.5f	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
1.5f*	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 ただし、「Sy」及び「Sy(RT)」を「1.2Sy」及び「1.2Sy(RT)」と読み替える	MPa
h	取付ボルトから重心までの高さ	mm
i ₁	応力係数で「JSME S NC1」PPC-3810に規定する値又は、1.33のいずれか大きい方の値	—
i ₂	応力係数で「JSME S NC1」PPC-3810に規定する値又は、1.0のいずれか大きい方の値	—
i _x , i _y	支持架構部材のx軸(強軸), y軸(弱軸)廻りの断面二次半径	mm
L	取付ボルト間の距離	—
ℓ	取付ボルト間の中心から, 各取付ボルトまでの距離	—
ℓ _k	支持架構部材の座屈長さ	mm
M _a	伝熱管の自重により生じるモーメント	N・mm
M _b	伝熱管の地震により生じるモーメント	N・mm
M _c	地震動による相対変位により, 伝熱管に生じるモーメントの全振幅	N・mm
M _p	ファン駆動部の回転により作用するモーメント	N・mm
M _b *	地震動の慣性力により伝熱管に生じるモーメントの全振幅	N・mm
N	原動機の回転数	rpm
n	取付ボルトの全本数	—
n _a	柱脚部1ヶ所当たりの基礎ボルトの本数	—
n _t	引張力の作用する取付ボルトの評価本数	—

記号	表 示 内 容	単 位
P	伝熱管の最高使用圧力	MPa
P_m	原動機の実出力	kW
Q_a	柱脚部(1ヶ所当たり)に作用する最大せん断力	N
S	「JSME S NC1」付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_a	伝熱管の許容応力	MPa
S_y	「JSME S NC1」付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S_u	「JSME S NC1」付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_n	伝熱管の一次+二次応力の変動値	MPa
t	伝熱管の肉厚	mm
m	原動機, 管束等の質量	kg
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
W_H	原動機, 管束等に作用する風荷重	N
Z_f	伝熱管(内管)の断面係数	mm ³
Z_x, Z_y	支持架構部材の x 軸 (強軸), y 軸 (弱軸) 廻りの断面係数	mm ³
σ_b	支持架構部材に生じる曲げ応力	MPa
σ_c	支持架構部材に生じる圧縮応力	MPa
σ_f	伝熱管の一次応力	MPa
σ_o	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_t	支持架構部材に生じる引張応力	MPa
σ_{ao}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$t \sigma_b$	支持架構部材に生じる引張側曲げ応力	MPa
$c \sigma_b$	支持架構部材に生じる圧縮側曲げ応力	MPa
τ	支持架構部材に生じるせん断応力	MPa
τ_b	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{ao}	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注: 「JSME S NC1」とは, 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(日本機械学会)
(2005年版(2007年追補版を含む))をいう。

なお, 「JSME S NC1」に値の記載がない場合は, 別途定められた適切な規格・基準
等を準用する。

3.3.2 計算精度と数値の丸め方

計算精度と数値の丸め方は, 添付書類「IV-1-2-1 機器の耐震性についての計算
書作成の基本方針」(5.3 計算精度と数値の丸め方)に基づく。

3.3.3 伝熱管の応力

[Redacted]

(1) 一次応力

[Redacted] (3.3-1)

(2) 一次+二次応力

[Redacted]
[Redacted] (3.3-2)

(3) 許容応力Sa

一次応力および一次+二次応力の許容引張応力は、下記式を用いる。

一次応力 = $1.5 \times 0.6S_u$ (3.3-3)

一次+二次応力 = $2S_y$ (3.3-4)

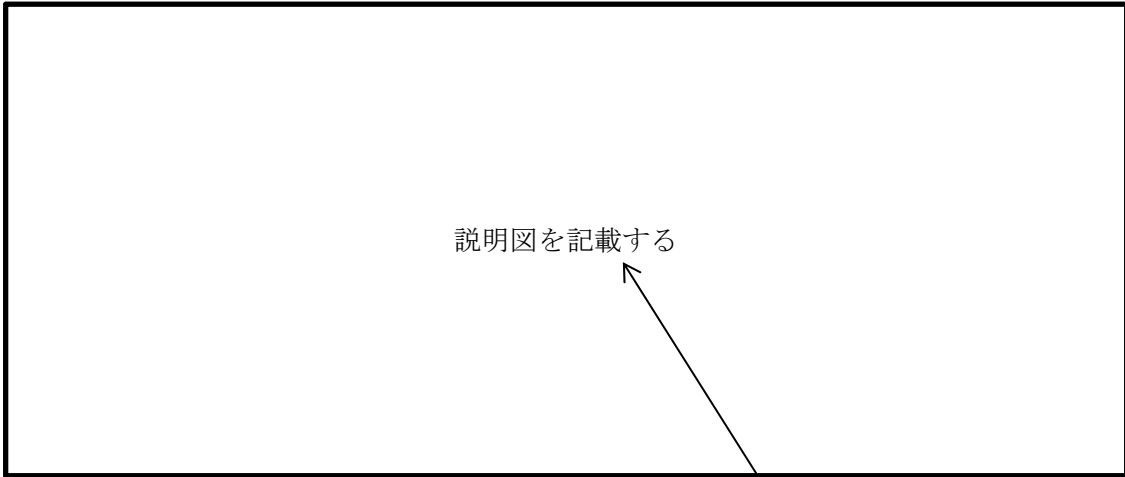
3.3.4 取付ボルトの応力

[Redacted]

[Redacted] 取付ボルト評価説明
図を第3.3-1図に示す。

[Redacted]

[Redacted]



第 3.3-1 図 取付ボルト評価説明図

ここでは評価に用いる寸法
関係のイメージ図を示す。

(1) せん断応力

[Redacted]

(原動機, 減速機)

[Redacted] (3.3-5)

(ファンリングサポート, 管束, ルーバ)

[Redacted] (3.3-6)

(2) 引張応力

[Redacted]

(原動機, 減速機)

[Redacted] (3.3-7)

[Redacted] (3.3-8)

(ファンリングサポート, 管束, ルーバ)

[Redacted] (3.3-9)

(3) 許容引張応力

[Redacted]

[Redacted] (3.3-10)

[Redacted] (3.3-11)

3.3.5 支持架構部材の応力

[Redacted]

(1) 圧縮力と曲げモーメント

[Redacted] (3.3-12)
[Redacted] (3.3-13)

(2) 引張力と曲げモーメント

[Redacted] (3.3-14)
[Redacted] (3.3-15)

3.3.6 基礎ボルトの応力

[Redacted]

(1) 基礎ボルトの引張応力

[Redacted] (3.3-16)

(2) 基礎ボルトのせん断応力

[Redacted] (3.3-17)

(3) 許容引張応力

[Redacted] (3.3-18)
[Redacted] (3.3-19)

代表以外の設備は 4 項以降の内容を示し、3 項までの内容については代表設備の計算書を引用することにより記載を省略する。

4. ○○○冷却塔 (代表機器)

4.1 解析モデル

(1) 構造

○○○冷却塔の構造について以下に示す。第4.1-1図に概要図を示す。

ファン駆動部 : [redacted]
[redacted]
[redacted] 第4.1-2図にファン駆動部構造図を示す。

管束 : [redacted]
[redacted]
[redacted] 第4.1-3図に管束構造図を示す。

ルーバ : [redacted]
[redacted]
[redacted] 第4.1-4図にルーバの構造図を示す。

支持架構 : [redacted]
[redacted]
[redacted]
[redacted]

[redacted]
[redacted]
[redacted]

概要図を記載する

第4.1-1図 冷却塔概要図

構造図を記載する

第 4.1-2 図 ファン駆動部構造図



第 4.1-3 図 管束構造図



第 4.1-4 図 ルーバ構造図

(2) 解析モデル

〇〇〇冷却塔のモデル化の考え方は、以下のとおりとする。

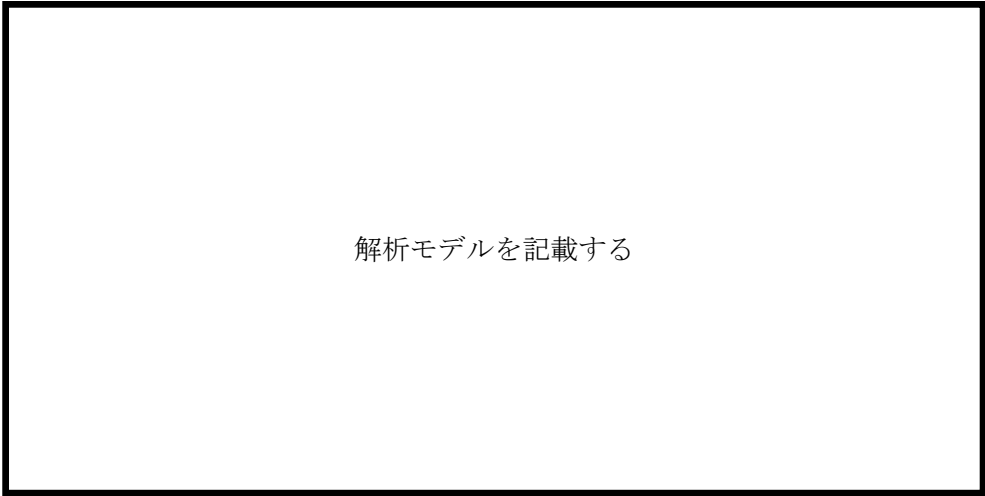
- 1) [Redacted]
- 2) [Redacted] なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「IV-3 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。
- 3) 支持架構の解析モデルを第4.1-5図、モデル諸元を第4.1-1表に、また、伝熱管の解析モデルを第4.1-6図、モデル諸元を第4.1-2表に示す。



第 4.1-5 図 〇〇解析モデル

第 4.1-1 表 支持架構のモデル諸元

要素数	
節点数	



第 4.1-6 図 伝熱管解析モデル

第 4.1-2 表 伝熱管のモデル諸元

要素数	
節点数	

4.2 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度					基準地震動 S _s			振動による震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	比重
				動的			静的		EW (G)	NS (G)	UD (G)				
				EW (G)	NS (G)	UD (G)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度							
○○○冷却塔	支持架構	据付場所 ¹⁾ T. M. S. L.		2)					3)			—	—		—
	ファン駆動部	原動機	—				○-○-○-○ 第○表				C _p =	—		—	
		減速機	据付場所 ¹⁾ T. M. S. L.	—					C _p =						
		ファンリング						—							
	管束/伝熱管	据付場所 ¹⁾ T. M. S. L.									—				
ルーバ	据付場所 ¹⁾ T. M. S. L.										—	—		—	

- 注記 1) : 基準床レベルを示す。
 2) : 弾性設計用地震動 S_d に基づく、据付面の床応答加速度を設計入力地震動とする。
 3) : 基準地震動 S_s に基づく、据付面の床応答加速度を設計入力地震動とする。

第 4.2-1 表 支持架構の固有周期

次数	固有周期 (s)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

0.05 s までの固有周期を記載し、記載する固有周期は最大でも 10 個までとする。

4.3 機器要目

(1) 伝熱管

D_o (mm)	t (mm)	Z_f (mm ³)	i_1 (-)	i_2 (-)

(2) 支持架構搭載機器

部 材	材 料	m (kg)	h (mm)	取付ボルト 配置	L (mm)	D (mm)	A_b (mm ²)	n (-)	n_t (-)	F (MPa)	F^* (MPa)	M_p (N・mm)
原 動 機												
取 付 ボ ル ト												
減 速 機												
取 付 ボ ル ト												
ファンリング												
サ ポ ー ト												
取 付 ボ ル ト												
管 束												
取 付 ボ ル ト												
ル ー バ												
取 付 ボ ル ト												

(3) 支持架構

部 材	材 料	運転重量 (ton)	A (mm ²)	Z (mm ³)		i (mm)		l_k (mm)	E (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
				Z_x	Z_y	i_x	i_y				
主 柱 (H〇〇)											
床 はり (H〇〇)											
2F 機械台はり (H〇〇)											
立面ブレース (H〇〇)											
水平ブレース (H〇〇)											

(4) 支持架構柱脚部

部 材	材 料	A_{ab} (mm ²)	n_a (-)	F (MPa)	F^* (MPa)
基礎ボルト					

4.4 結論

(単位：MPa)

部 材	応 力	S d 又は 3.6Ci			S s		
		算出応力 ¹⁾	許容応力	応力比	算出応力	許容応力	応力比
伝 熱 管	一次	$\sigma_f = -$	$S_a =$	-	$\sigma_f =$	$S_a =$	
	一次+二次	$S_n = -$	$S_a =$	-	$S_n =$	$S_a =$	
支持 架 構 搭 載 機 器	原 動 機 取 付 ボ ル ト	引 張	$\sigma_o = -$	$f_{ts} =$	-	$\sigma_o =$	$f_{ts}^* =$
		せん断	$\tau_b = -$	$f_{so} =$	-	$\tau_b =$	$f_{so}^* =$
	減 速 機 取 付 ボ ル ト	引 張	$\sigma_o = -$	$f_{ts} =$	-	$\sigma_o =$	$f_{ts}^* =$
		せん断	$\tau_b = -$	$f_{so} =$	-	$\tau_b =$	$f_{so}^* =$
	ファンリングサポート 取 付 ボ ル ト	引 張	$\sigma_o = -$	$f_{ts} =$	-	$\sigma_o =$	$f_{ts}^* =$
		せん断	$\tau_b = -$	$f_{so} =$	-	$\tau_b =$	$f_{so}^* =$
	管 束 取 付 ボ ル ト	引 張	$\sigma_o = -$	$f_{ts} =$	-	$\sigma_o =$	$f_{ts}^* =$
		せん断	$\tau_b = -$	$f_{so} =$	-	$\tau_b =$	$f_{so}^* =$
	ル ー バ 取 付 ボ ル ト	引 張	$\sigma_o = -$	$f_{ts} =$	-	$\sigma_o =$	$f_{ts}^* =$
		せん断	$\tau_b = -$	$f_{so} =$	-	$\tau_b =$	$f_{so}^* =$
	支 持 架 構	引 張	$\sigma_t = -$	$f'_t =$	-	$\sigma_t =$	$f'_t{}^* =$
		圧 縮	$\sigma_c = -$	$f'_c =$	-	$\sigma_c =$	$f'_c{}^* =$
曲 げ		$\sigma_b = -$	$f'_b =$	-	$\sigma_b =$	$f'_b{}^* =$	
せん断		$\tau = -$	$f'_s =$	-	$\tau =$	$f'_s{}^* =$	
組合せ (引張+曲げ)		(応力比) -	(許容値)	-	(応力比)	(許容値)	
組合せ (圧縮+曲げ)		(応力比) -	(許容値)	-	(応力比)	(許容値)	
基 礎 ボ ル ト	引 張	$\sigma_{ao} = -$	$f_{ts} =$	-	$\sigma_{ao} =$	$f_{ts}^* =$	
	せん断	$\tau_{ao} = -$	$f_{so} =$	-	$\tau_{ao} =$	$f_{so}^* =$	

注記 1) S s による算出応力が S d 又は 3.6Ci の許容応力以下である場合は記載を省略する。

設計基準評価対象設備である○○○冷却塔は、設計用地震力に対する評価が許容値を満足することを確認した。

S s による算出応力が S d 又は 3.6Ci の許容応力以下の場合は「-」を記載し、を下回る場合に記載することとし、許容応力が上回る場合は、「-」を記載する。

機能維持評価において各部位の評価に用いる許容値を以下に示す。

(1) ファン軸応力

ファン軸の組合せ応力（最大せん断応力）が、下記の許容せん断応力以下であること。

耐震クラス	許容応力状態	許容せん断応力
○	■	■

なお、F値は以下による。 $F = \min(S_y, 0.7S_u)$

(2) 軸受

■

(3) チップクリアランスの評価

■

5.3.3 計算方法

(1) 記号の説明

記号	表 示 内 容	単 位
d	ファン軸径	mm
C_{B1}	下部軸受の減衰係数	$N \cdot s/mm$
C_{B2}	上部軸受の減衰係数	$N \cdot s/mm$
F_{Ba}	軸方向の最大荷重	N
F_{Br}	軸受部ラジアル方向の最大荷重	N
f_{si}	荷重係数(衝撃荷重として1.5とする)	—
I_p	ファン等価円板の極慣性モーメント	$N \cdot mm \cdot s^2$
K_M	減速機取付部の並進ばね定数	N/mm
K_θ	減速機取付部の回転ばね定数	$N \cdot mm/rad$
K_{Xb1}, K_{Yb1}	下部軸受のばね定数	N/mm
K_{Xb2}, K_{Yb2}	上部軸受のばね定数	N/mm
M_F	ファン等価円板の質量	kg
M_{bf}	地震力によりファン軸に生じる曲げモーメント	$N \cdot mm$
m_1	回転軸の質量（下部軸受）	kg
m_2	回転軸の質量（上部軸受）	kg
M_{tf}	ファン回転によるねじりモーメント	$N \cdot mm$

記号	表 示 内 容	単 位
P_0	軸受の静等価荷重	N
P_1	ファン及びカップリング等の自重	N
P_2	ファン軸の鉛直地震力により作用する軸力	N
P_3	ファン回転によるスラスト荷重	N
Q_f	地震力によるファン軸に生じるせん断力	N
Y_0	静スラスト係数	—
σ_{bf}	地震力によるファン軸外縁の曲げ応力	MPa
σ_{mf}	軸力による圧縮応力	MPa
τ_{sf}	地震力によるファン軸のせん断応力	MPa
τ_{tf}	ファン軸の回転による軸外縁のせん断応力	MPa
τ_{max}	ファン軸の組合せ応力	MPa
ω	ファン軸の角速度	rad/s

(2) ファン軸応力の計算方法

1) 地震力による軸外縁曲げ応力

$$\sigma_{bf} = \frac{Q_f \cdot r}{I} \cdot y \quad \dots \dots \dots (5.3.4-1)$$

2) 軸力による圧縮応力

$$\sigma_{mf} = \frac{P}{A} \quad \dots \dots \dots (5.3.4-2)$$

3) ファン軸の回転による軸外縁のせん断応力

$$\tau_{tf} = \frac{P_3}{A} \quad \dots \dots \dots (5.3.4-3)$$

4) 地震力によるせん断応力

$$\tau_{sf} = \frac{Q_f}{A} \quad \dots \dots \dots (5.3.4-4)$$

5) 組合せ応力(最大せん断応力)

$$\tau_{max} = \sqrt{\tau_{sf}^2 + \tau_{tf}^2} \quad \dots \dots \dots (5.3.4-5)$$

(3) 軸受荷重の計算方法

$$P_0 = \dots \dots \dots (5.3.4-6)$$

$$P_1 = \dots \dots \dots (5.3.4-7)$$

(4) 地震時チップクリアランスの計算方法

[Redacted text block]

5.4 動的機能維持評価結果

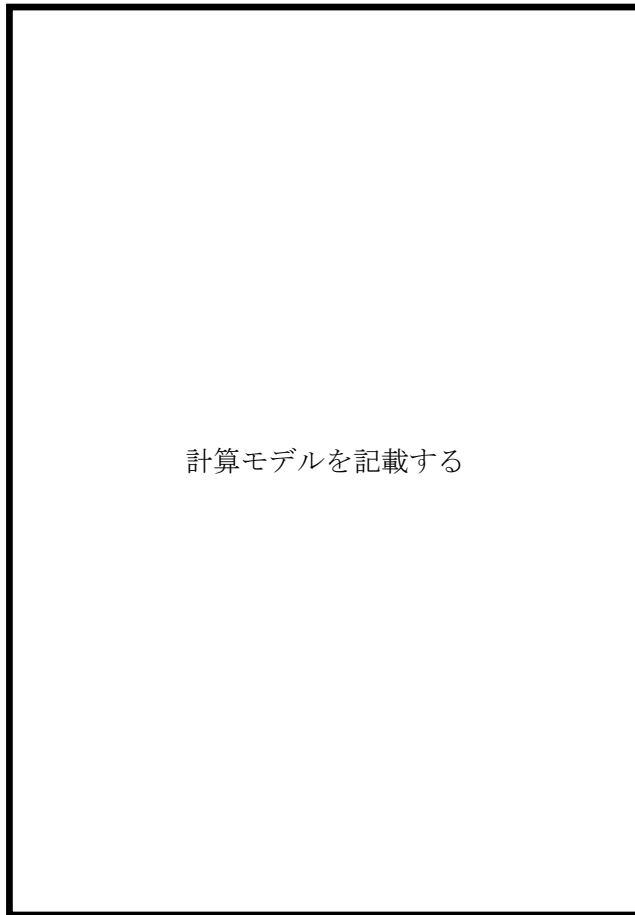
5.4.1 解析モデル

ファン軸のモデル化の考え方は以下のとおりとする。

[Redacted text block]

- ・計算は、解析コード「〇〇」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「IV〇〇〇 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

ファン軸解析モデルを第5.4-1図に、ファン軸解析モデル諸元を第5.4-1表に示す。



質 量

$$M_{R1} = \text{kg}$$

$$M_{R2} = \text{kg}$$

$$M_F = \text{kg}$$

総角運動量

$$\omega I_P = \text{N} \cdot \text{mm} \cdot \text{s}$$

軸受部の減衰係数

$$C_{B1} = C_{B2} = \text{N} \cdot \text{s}/\text{mm}$$

軸受部のばね定数

$$K_{B1} = \text{N}/\text{mm}$$

$$K_{B2} = \text{N}/\text{mm}$$

減速機取付部のばね定数

$$K_M = \text{N}/\text{mm}$$

$$K_\theta = \text{N} \cdot \text{mm}/\text{rad}$$

ファン軸の縦弾性係数

$$E = \text{MPa}$$

第 5.4-1 図 ○○○冷却塔 ファン軸解析モデル図

第 5.4-1 表 ○○○冷却塔 ファン軸解析モデル諸元

要素数	
節点数	

5.4.2 結論

固有値解析結果について、第5.4-1表に、評価結果について第5.4-2表に示す。

第5.4-1表 ○○○冷却塔 固有値解析結果

		固有周期 (s) (固有振動数 (Hz))	備 考
原 動 機		—	JEAG4601-1991 追補版において、十分に剛であることが示されている。
減 速 機	本 体	—	
	ファン軸	停止時	
		回転時	
ファンリング			

第5.4-2表 ○○○冷却塔 評価結果

		S s		
ファン軸		発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
軸 受	上部軸受	発生荷重 (N)	許容荷重 (N)	荷重比
	下部軸受			
チップクリアランス		ファン軸先端の 最大変位(mm)	許容値 (mm)	応力比

個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(Aパターンの耐震計算書記載例)

添付資料－1

個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(Aパターンの耐震計算書記載例)

IV〇〇〇〇〇

△△冷却塔の耐震計算書

(代表以外の場合)

目 次

1. 概要	1
2. 構造の説明	1
3. 評価方針	1
3.1 評価条件	1
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	1
3.3 計算方法	1
4. △△冷却塔（代表以外の設備）	2
4.1 解析モデル	2
5. ○○○冷却塔動的機能維持評価	11
5.1 機能維持評価の概要	11
5.2 機能維持評価の構造の説明	11
5.3 機能維持評価方針	11
5.4 機能維持評価結果	14

1. 概要

本資料は、添付書類「IV〇〇〇〇 〇〇冷却塔の耐震計算書」を代表機器とした△△冷却塔の耐震性についての計算方法と計算結果を示すものである。

2. 構造の説明

3. 評価方針

冷却塔の耐震評価では、解析により固有周期を求め、解析モデルを用いた地震応答解析を行ったのち応力評価を行う。

3.1 評価条件

評価条件は、添付書類「IV-1-1-8 機能維持の基本設計方針」に従い、評価に用いる条件を「4. 計算結果」にて示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

荷重の組合せは、添付書類「IV-1-1-8 機能維持の基本設計方針」に基づき設定する。

3.3 計算方法

計算方法は、添付書類「IV〇〇〇〇 〇〇冷却塔の耐震計算書」に基づく。

<3 項の小項目は省略する場合>

3. 評価方針

評価方針として、評価条件、荷重の組合せ及び許容応力及び計算方法については、添付書類「IV〇〇〇〇 〇〇冷却塔の耐震計算書」に基づく。

代表以外の設備の共通部分の記載は以下のイメージで考えておりました。

1. 概要
2. 構造の説明
3. 評価方針
- 3.1 評価条件
- 3.2 荷重の組合せ及び許容応力
- 3.3 計算方法

本資料の 1. 概要から 3.3 計算方法については、添付書類「添付IV〇〇〇〇 〇〇冷却塔の耐震計算書」による。

代表以外の設備は 4.2 項以降の内容を示し，3 項までの内容については代表設備の計算書を引用することにより記載を省略する。

4. △△冷却塔（代表以外の設備）

4.1 解析モデル

(1) 構造

△△冷却塔の構造について以下に示す。第4. 1-1図に概要図を示す。

ファン駆動部 : [Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

管束 : [Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

第4. 1-3図に管束構造図を示す。

ルーバ : [Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

第4. 1-4図にルーバの構造図を示す。

支持架構 : [Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

概要図を記載する

第4.1-1図 冷却塔概要図

構造図を記載する

第 4.1-2 図 ファン駆動部構造図



第 4.1-3 図 管束構造図



第 4.1-4 図 ルーバ構造図

(2) 解析モデル

△△冷却塔のモデル化の考え方は、以下のとおりとする。

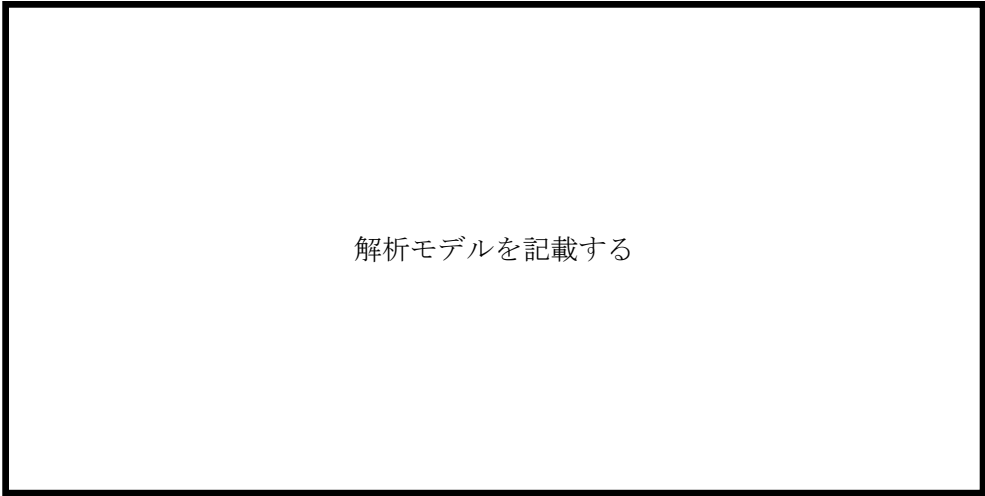
- 1) [Redacted]
- 2) [Redacted] なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「IV-3 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。
- 3) 支持架構の解析モデルを第4.1-5図、モデル諸元を第4.1-1表に、また、伝熱管の解析モデルを第4.1-6図、モデル諸元を第4.1-2表に示す。



第 4.1-5 図 ○○解析モデル

第 4.1-1 表 支持架構のモデル諸元

要素数	
節点数	



第 4.1-6 図 伝熱管解析モデル

第 4.1-2 表 伝熱管のモデル諸元

要素数	
節点数	

4.2 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度					基準地震動 S _s			振動による震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	比重
				動的			静的		EW (G)	NS (G)	UD (G)				
				EW (G)	NS (G)	UD (G)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度							
冷却塔	支持架構	据付場所 ¹⁾ T. M. S. L.		2)					3)			—	—		—
	ファン駆動部	原動機	—				○-○-○-○ 第○表				C _p =	—		—	
		減速機	据付場所 ¹⁾ T. M. S. L.	—					C _p =						
		ファンリング						—							
	管束/伝熱管	据付場所 ¹⁾ T. M. S. L.									—				
ルーバ	据付場所 ¹⁾ T. M. S. L.										—	—		—	

- 注記 1) : 基準床レベルを示す。
 2) : 弾性設計用地震動 S_d に基づく、据付面の床応答加速度を設計入力地震動とする。
 3) : 基準地震動 S_s に基づく、据付面の床応答加速度を設計入力地震動とする。

第 4.2-1 表 支持架構の固有周期

次数	固有周期 (s)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

0.05 s までの固有周期を記載し、記載する固有周期は最大でも 10 個までとする。

4.3 機器要目

(1) 伝熱管

D_o (mm)	t (mm)	Z_f (mm ³)	i_1 (-)	i_2 (-)

(2) 支持架構搭載機器

部 材	材 料	m (kg)	h (mm)	取付ボルト 配置	L (mm)	D (mm)	A_b (mm ²)	n (-)	n_t (-)	F (MPa)	F^* (MPa)	M_p (N・mm)
原 動 機												
取 付 ボ ル ト												
減 速 機												
取 付 ボ ル ト												
ファンリング												
サ ポ ー ト												
取 付 ボ ル ト												
管 束												
取 付 ボ ル ト												
ル ー バ												
取 付 ボ ル ト												

(3) 支持架構

部 材	材 料	運転重量 (ton)	A (mm ²)	Z (mm ³)		i (mm)		l_k (mm)	E (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
				Z_x	Z_y	i_x	i_y				
主 柱 (H〇〇)											
床 はり (H〇〇)											
2F 機械台はり (H〇〇)											
立面ブレース (H〇〇)											
水平ブレース (H〇〇)											

(4) 支持架構柱脚部

部 材	材 料	A_{ab} (mm ²)	n_a (-)	F (MPa)	F^* (MPa)
基礎ボルト					

4.4 結論

(単位：MPa)

部 材	応 力	S d 又は 3.6Ci			S s		
		算出応力 ¹⁾	許容応力	応力比	算出応力	許容応力	応力比
伝 熱 管	一次	$\sigma_f =$ —	$S_a =$	—	$\sigma_f =$	$S_a =$	
	一次+二次	$S_n =$ —	$S_a =$	—	$S_n =$	$S_a =$	
支持架 構搭載機器	原 動 機 取 付 ボ ル ト	引 張	$\sigma_o =$ —	$f_{ts} =$	—	$\sigma_o =$	$f_{ts}^* =$
		せん断	$\tau_b =$ —	$f_{so} =$	—	$\tau_b =$	$f_{so}^* =$
	減 速 機 取 付 ボ ル ト	引 張	$\sigma_o =$ —	$f_{ts} =$	—	$\sigma_o =$	$f_{ts}^* =$
		せん断	$\tau_b =$ —	$f_{so} =$	—	$\tau_b =$	$f_{so}^* =$
	ファンリングサポート 取 付 ボ ル ト	引 張	$\sigma_o =$ —	$f_{ts} =$	—	$\sigma_o =$	$f_{ts}^* =$
		せん断	$\tau_b =$ —	$f_{so} =$	—	$\tau_b =$	$f_{so}^* =$
	管 束 取 付 ボ ル ト	引 張	$\sigma_o =$ —	$f_{ts} =$	—	$\sigma_o =$	$f_{ts}^* =$
		せん断	$\tau_b =$ —	$f_{so} =$	—	$\tau_b =$	$f_{so}^* =$
	ル ー バ 取 付 ボ ル ト	引 張	$\sigma_o =$ —	$f_{ts} =$	—	$\sigma_o =$	$f_{ts}^* =$
		せん断	$\tau_b =$ —	$f_{so} =$	—	$\tau_b =$	$f_{so}^* =$
	支 持 架 構	引 張	$\sigma_t =$ —	$f'_t =$	—	$\sigma_t =$	$f'_t{}^* =$
		圧 縮	$\sigma_c =$ —	$f'_c =$	—	$\sigma_c =$	$f'_c{}^* =$
曲 げ		$\sigma_b =$ —	$f'_b =$	—	$\sigma_b =$	$f'_b{}^* =$	
せん断		$\tau =$ —	$f'_s =$	—	$\tau =$	$f'_s{}^* =$	
組合せ (引張+曲げ)		(応力比) —	(許容値)	—	(応力比)	(許容値)	
組合せ (圧縮+曲げ)		(応力比) —	(許容値)	—	(応力比)	(許容値)	
基 礎 ボ ル ト	引 張	$\sigma_{ao} =$ —	$f_{ts} =$	—	$\sigma_{ao} =$	$f_{ts}^* =$	
	せん断	$\tau_{ao} =$ —	$f_{so} =$	—	$\tau_{ao} =$	$f_{so}^* =$	

注記 1) S s による算出応力が S d 又は 3.6Ci の許容応力以下である場合は記載を省略する。

設計基準評価対象設備である△△冷却塔は、設計用地震力に対する評価が許容値を満足することを確認した。

S s による算出応力が S d 又は 3.6Ci の許容応力以下の場合は「—」を記載し、を下回る場合に記載することとし、許容応力が上回る場合は、「—」を記載する。

5. △△冷却塔動的機能維持評価

5.1 機能維持評価の概要

添付書類「IV-1-1-8 機能維持の基本方針」に基づき、ファン駆動部の動的機能維持に関する耐震性評価を行う。

なお、△△冷却塔ファン駆動部の仕様はJEAG4601-1991追補版に定める適用機種の適用範囲外であることから、耐震性評価はファン駆動部の動的機能を維持するために必要な評価項目を行う。

5.2 機能維持評価の構造の説明

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]。ファン駆動部の構造は第4.1-2図に示す。

5.3 機能維持評価方針

[Redacted text]

[Redacted text]

5.3.1 評価条件

各評価は、添付書類「IV-1-1-8 機能維持の基本方針」に基づき評価項目に応じた評価を行い、添付書類「〇〇 〇〇〇の設計用床応答曲線」に基づくファン駆動部据付位置の地震力を入力として評価を行う。

5.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

機能維持評価において各部位の評価に用いる許容値を以下に示す。

(1) ファン軸応力

ファン軸の組合せ応力（最大せん断応力）が、下記の許容せん断応力以下であること。

耐震クラス	許容応力状態	許容せん断応力
○	■	■

なお、F値は以下による。 $F = \min(S_y, 0.7S_u)$

(2) 軸受

■

(3) チップクリアランスの評価

■

5.3.3 計算方法

(1) 記号の説明

記号	表 示 内 容	単 位
d	ファン軸径	mm
C_{B1}	下部軸受の減衰係数	$N \cdot s/mm$
C_{B2}	上部軸受の減衰係数	$N \cdot s/mm$
F_{Ba}	軸方向の最大荷重	N
F_{Br}	軸受部ラジアル方向の最大荷重	N
f_{si}	荷重係数(衝撃荷重として1.5とする)	—
I_p	ファン等価円板の極慣性モーメント	$N \cdot mm \cdot s^2$
K_M	減速機取付部の並進ばね定数	N/mm
K_θ	減速機取付部の回転ばね定数	$N \cdot mm/rad$
K_{Xb1}, K_{Yb1}	下部軸受のばね定数	N/mm
K_{Xb2}, K_{Yb2}	上部軸受のばね定数	N/mm
M_F	ファン等価円板の質量	kg
M_{bf}	地震力によりファン軸に生じる曲げモーメント	$N \cdot mm$
m_1	回転軸の質量（下部軸受）	kg
m_2	回転軸の質量（上部軸受）	kg
M_{tf}	ファン回転によるねじりモーメント	$N \cdot mm$

(4) 地震時チップクリアランスの計算方法

[Redacted text block]

5.4 動的機能維持評価結果

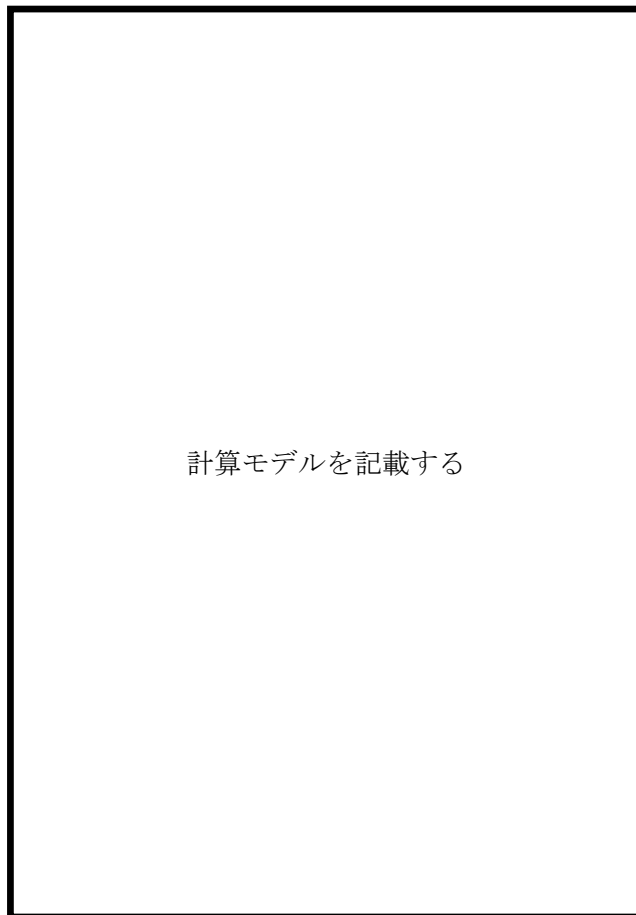
5.4.1 解析モデル

ファン軸のモデル化の考え方は以下のとおりとする。

[Redacted text block]

- ・計算は、解析コード「〇〇」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「IV〇〇〇 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

ファン軸解析モデルを第5.4-1図に、ファン軸解析モデル諸元を第5.4-1表に示す。



質 量

$$M_{R1} = \text{kg}$$

$$M_{R2} = \text{kg}$$

$$M_F = \text{kg}$$

総角運動量

$$\omega I_P = \text{N} \cdot \text{mm} \cdot \text{s}$$

軸受部の減衰係数

$$C_{B1} = C_{B2} = \text{N} \cdot \text{s}/\text{mm}$$

軸受部のばね定数

$$K_{B1} = \text{N}/\text{mm}$$

$$K_{B2} = \text{N}/\text{mm}$$

減速機取付部のばね定数

$$K_M = \text{N}/\text{mm}$$

$$K_\theta = \text{N} \cdot \text{mm}/\text{rad}$$

ファン軸の縦弾性係数

$$E = \text{MPa}$$

第 5.4-1 図 △△冷却塔 ファン軸解析モデル図

第 5.4-1 表 △△冷却塔 ファン軸解析モデル諸元

要素数	
節点数	

5.4.2 結論

固有値解析結果について、第5.4-1表に、評価結果について第5.4-2表に示す。

第5.4-1表 △△冷却塔 固有値解析結果

		固有周期 (s) (固有振動数 (Hz))	備 考
原 動 機		—	JEAG4601-1991 追補版において、十分に剛であることが示されている。
減 速 機	本 体	—	
	ファン軸	停止時	
		回転時	
ファンリング			

第5.4-2表 △△冷却塔 評価結果

		S s		
ファン軸		発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
軸 受	上部軸受	発生荷重 (N)	許容荷重 (N)	荷重比
	下部軸受			
チップクリアランス		ファン軸先端の 最大変位 (mm)	許容値 (mm)	応力比

建屋（施設）ごとに作成する。

1. 概要

本資料は、**〇〇〇建屋**の全ての配管のうち耐震Sクラスの支持間隔を、添付書類「IV-1-1-1 1-1 配管の耐震支持方針」に基づき標準支持間隔法により算出した結果をまとめたものである。

第 2.3-○表 設計用床応答曲線区分

床応答曲線区分	床面レベル (m)
1	EL. ○○. ○○m ~ ○○. ○○m
2	EL. ○○. ○○m ~ ○○. ○○m
3	EL. ○○. ○○m ~ ○○. ○○m

床面レベルの最大から最小を記載する

