

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震機電 17 R3
提出年月日	令和 3 年 7 月 6 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

剛な設備の固有周期の算出について

目次


1. 概要	1
2. 固有周期の確認方法	1
3. 固有周期の算出を行っていない設備	1
3.1 定型式による評価を行う設備	1
3.2 FEM 解析による評価を行う設備	2
4. 固有周期の確認内容	2
4.1 固有周期算出方針	2
4.2 固有周期算出結果	3
5. まとめ	3


添付-1 機器・配管系の耐震設計における剛柔判定の閾値について

別紙-1 冷却塔ファンの固有周期の算出

別紙-2 横軸ポンプの固有周期の算出

別紙-3 盤の固有周期の算出

 : 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に対する耐震計算書の評価結果を補足説明するものである。

耐震評価における剛と剛ではない設備については、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987, 1970（以下、「JEAG4601」という。）等に基づき、固有周期が 0.05s を閾値として判定を行った上で各設備に応じた評価を行う。なお、固有周期の閾値に対する考え方については添付-1 に示す。

これら剛と剛ではない設備に対する評価方針としては、事業変更許可申請書及び設工認添付書類 地震応答解析の基本方針上に評価に用いる入力地震動の適用方法及び耐震評価手法等を示している。

ここでは、耐震評価において固有周期の算出を行わず、剛な設備と判定を行っている設備の考え方及びそれら設備に対する確認結果を示す。

また、本資料は、第1回申請（令和2年12月24日申請）のうち、以下に示す添付書類の補足説明に該当するものである。

- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-3-2-1（1）安全冷却水B冷却塔（XXXXXXXXXX）の耐震計算書」

2. 固有周期の確認方法

耐震設計における固有周期については、JEAG4601 を基に設定した計算式、FEM 解析モデルによる固有値解析、振動特性試験等により確認を行っている。

このうち、一部の設備については固有周期の算出を行わず、固有周期を「剛」と見なしていることから、それら設備に対する考え方を示す。

3. 固有周期の算出を行っていない設備

固有周期の算出を行っていない設備としては、設工認 添付書類 計算書作成の基本方針上に示す定型式による評価を行う設備のうち「横軸ポンプ」及び「矩形電気計装設備」に属する盤、設工認 添付書類 機器の耐震支持方針に基づく FEM 解析による評価を行う設備である「冷却塔」の構成部材となるファン駆動部（以下、「冷却塔ファン」という。）が該当する。本項では各設備に対する固有周期の算出方法について示す。

3.1 定型式による評価を行う設備

3.1.1 横軸ポンプ

横軸ポンプの定型式については、JEAG4601 の計算式を基にしている。JEAG4601 上の計算式としては、固有周期の計算、応力の計算それぞれの考え方が示されており、応力

の計算については基礎ボルトに対する応力計算式が示されている。これに対し、固有周期の計算については、構造と重心位置の関係から一つの大きなブロック状の構造であり、固有周期が十分に小さい剛体と見なすことができるため、算出を省略できることが示されている。

このため、基本方針上における横軸ポンプの定型式としては、JEAG4601 に示されている応力算出式と固有周期に対する考え方を適用している。よって、固有周期は「剛」としており、本定型式を用いているポンプ、ブロワについては、固有周期の算出を行っていない。

3.1.2 矩形電気計装設備（盤）

矩形電気計装設備に属する盤については、振動特性試験等により固有周期の確認を行うことを計算書作成の基本方針で示していることから、固有周期の算出を行っていない。

なお、JEAG4601 において、盤の固有周期の確認方法として、振動特性試験等で確認する方法が示されている。

3.2 FEM 解析による評価を行う設備

3項に示した設備のうち本項に該当する設備については、横軸ポンプと同様な構造であることから、応力及び固有周期の算出方法の考え方を耐震計算書内に示した上で、固有周期の算出を省略している。

これら固有周期の算出を行っていない設備について、固有周期が「剛」であることに対する確認内容を次項に示す。

4. 固有周期の確認内容

固有周期の算出式を省略している設備について、それぞれ類型化による分類ごとの代表設備に対して固有周期の算出を行い、閾値である 0.05s よりも剛であることの確認を行う。なお、代表設備の選定は補足説明資料 耐震機電 07「機器、配管系の類型化に対する分類の考え方について」に示す方法により選定する。

上記方法による確認は、「横軸ポンプ」、「冷却塔」に属する冷却塔ファン及び「矩形電気計装設備」に属する盤の代表設備を対象に行う。

4.1 固有周期算出方針

固有周期の算出に当たっては、JEAG4601 又は JEAG4601-1991 追補版に準拠し算出する。

4.2 固有周期算出結果

4.1の固有周期算出方針に基づいて算出した結果について、代表設備に対する固有周期算出結果を別紙にて示す。

5. まとめ

4.2項で別紙に示した通り、固有周期の計算を省略している設備に対して固有周期の算出を行い、閾値である0.05sよりも剛であることを確認した。

なお、確認対象設備のうち第1回申請においては冷却塔ファンに対する固有値算出結果を示し、横軸ポンプの固有値算出結果及び盤の振動特性試験等による固有値算出結果については後次回申請時に示す。

機器・配管系の耐震設計における剛柔判定の閾値について

1. 剛柔判定の閾値である固有周期の考え方

機器・配管系の耐震設計では、基準地震動 S_s ，弾性設計用地震動 S_d に対して動的解析を行い水平及び鉛直方向の動的地震力を定める。その機器・配管系が柔構造（剛ではない設備）と判断される場合には、動的解析により地震力を算定し、剛構造（剛な設備）と判断される場合には、機器・配管系の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度 (1.2ZPA) とした静的解析により地震力を算定する。

ここで、剛柔判定の閾値である固有周期 (0.05s) と動的解析の適用範囲の概要を図1に示す。剛柔判定の固有周期は、地震動による応答増幅が大きくなる建物・構築物の卓越周期から十分離隔した位置に設定し、動的解析の適用要否の決定に用いている。なお、この考え方は、JEAG4601-1970 に示されている。

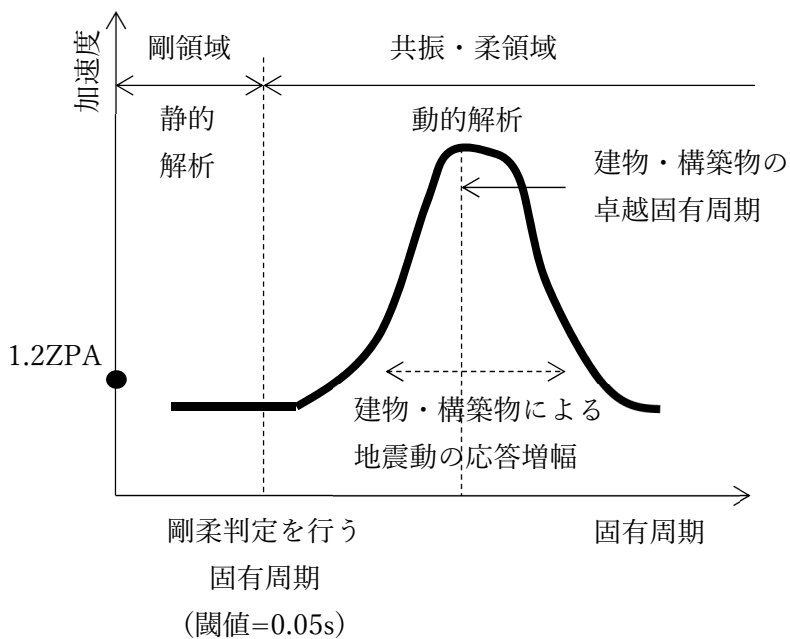


図1 剛柔判定の閾値である固有周期と動的解析の適用範囲

2. 剛柔判定を行う固有周期と地震力の算定法

JEAG4601-1987 の抜粋を図2 に示す。機器・配管系の剛柔判定については、JEAG4601-1987 に例示されているとおり、機器・配管系の1次固有周期が0.05s以下の場合は剛な設備、0.05sを超える場合は剛ではない設備とする。この方針は、既設工認と同様である。

機器・配管系の耐震設計では、剛柔判定の閾値である固有周期（0.05s）を超える場合は地震応答を動的解析により行い、0.05s以下の場合の地震応答は動的解析に代えて静的解析を行う。

6.4.3 動的地震力の概要

機器・配管系の耐震設計に用いる動的地震力は、重要性の高いAsクラス機器の地震力を基本に定めるものである。本項では、その概要を示し、地震力算定の詳細は「6.5 地震応答解析」に述べることとする。

(1) As 及び A クラス機器

Aクラス機器に関しては、基準地震動S₁に対し動的解析（地盤－建屋－機器連成の解析あるいは据付位置における設計用床応答スペクトルを用いた解析等）により算定される水平地震力を適用する。Aクラス機器の中で特に重要なAsクラス機器に関しては、さらに基準地震動S₂に対し動的解析によって得られる水平地震力をも適用する。ただし、その機器が剛構造と判断される場合（例えば機器の1次固有振動数が20Hz以上、あるいは、設計用床応答スペクトルの卓越する領域より高い固有振動数を有する場合）には、その機器の据付位置における建物の応答加速度を基に定まる震度により地震力を算定する。なお、As、Aクラスの機器については鉛直地震力をも考慮し、基準地震動の最大加速度を1/2とした鉛直震度（高さ方向については一定とする）より求まる鉛直地震力を水平地震力と同時に不利な方向で組合せる。

図2 JEAG4601-1987（抜粋）

3. 実機に対する適用性

JEAG4601-1987 の記載は、水平方向の動的解析への適用として剛柔判定の固有周期0.05sの考え方を例示したものである。新規制基準においては、鉛直方向についても水平方向と同様に動的な扱いとするため、鉛直方向も含め剛柔判定の閾値である固有周期(0.05s)が地震力算定に適用可能であることを検討した。本検討に際して参照したJEAG4601-1970の抜粋を図3に示す。JEAG4601-1970には、建物・構築物の卓越固有周期の1/2程度を剛柔判定の閾値である固有周期とするとの考えが示されており、原子力発電所の場合については、建物・構築物の卓越周期は一般に0.1~0.5s(2~10Hz)であることを考慮して、0.05sを剛柔判定の閾値とすれば十分であると記載されている。

第1回申請対象であるMOX燃料加工施設の燃料加工建屋地震応答解析モデルに基づく、水平方向及び鉛直方向における固有周期を表1~表3に示す。建屋の卓越固有周期は水平及び鉛直方向ともおおよそ0.2s以上であり、剛柔判定の閾値である固有周期0.05sは、燃料加工建屋の卓越固有周期に対して十分な離隔(卓越固有周期の1/2以下)をもって設定されている。なお、その他再処理事業所における各建屋においても同様の傾向であることを確認している。

原子力発電所の場合について一般的にみると、地盤の卓越振動数、構築物の固有振動数をあわせ考えて、2~10 Hzが取付け点の卓越振動数域すなわち床応答曲線が持ち上る領域と考えられる。したがって動特性がまったく不明な場合には一応これより共振領域としては1~20 Hzを考えれば一応十分であろう。

そこで固有振動数の評価に当たって重要なことは、対象となっている機械系が固有振動数解析を必要とする範囲にあるか否かを判定することである。明らかに20 Hzよりはるかに高い固有振動数を有すると推定される対象につき、多くの計算を行なう必要はない。その推定は在来の経験であってもよし、対象物あるいはそれと類似な機器についての試験の結果であってもよい。この試験もたとえば簡単に木槌でたたいてみるといったことであってよいのである。ときには、これによって支持金具の不完全さなどを見出すことができる。

図3 JEAG4601-1970 (抜粋)

表1 燃料加工建屋地震応答解析モデルの固有値解析結果（水平（NS）方向）

次数	固有周期（s）	固有振動数（Hz）	刺激係数	卓越
1	0.310	3.22	1.382	○
2	0.157	6.36	0.334	
3	0.084	11.88	-0.160	
4	0.065	15.33	0.135	

表2 燃料加工建屋地震応答解析モデルの固有値解析結果（水平（EW）方向）

次数	固有周期（s）	固有振動数（Hz）	刺激係数	卓越
1	0.307	3.26	1.336	○
2	0.158	6.33	0.321	
3	0.080	12.47	-0.133	
4	0.060	16.71	0.070	

表3 燃料加工建屋地震応答解析モデルの固有値解析結果（鉛直方向）

次数	固有周期（s）	固有振動数（Hz）	刺激係数	卓越
1	0.199	5.02	1.096	○
2	0.046	21.96	-0.125	

4. まとめ

3項の検討結果より、既設工認と同様の剛柔判定の閾値である固有周期0.05sは、建屋の卓越固有周期に対して十分な離隔をもっており、再処理事業所の水平及び鉛直方向の地震力算定に適用可能であることを確認した。

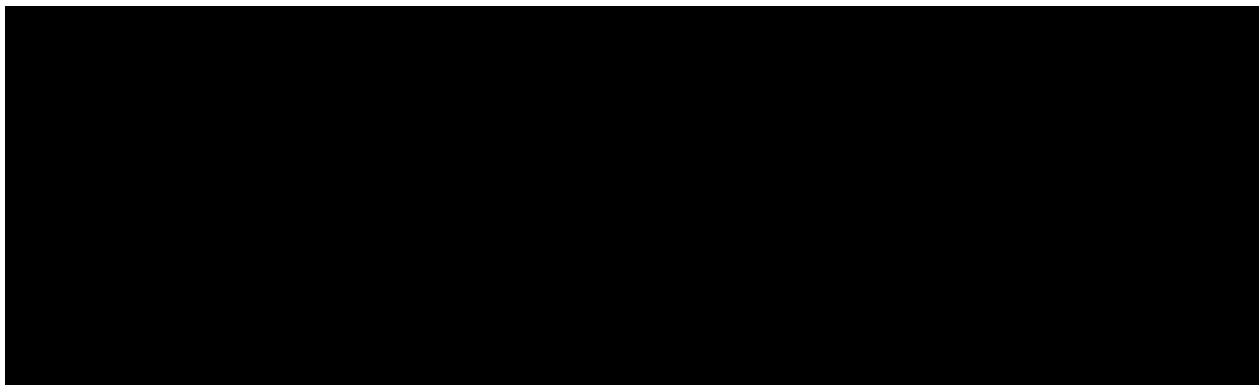
別紙-1

冷却塔ファンの固有周期の算出

目次

1. 概要	1
2. 固有周期の算出方法	1
3. 固有周期の算出結果	4

1. 概要

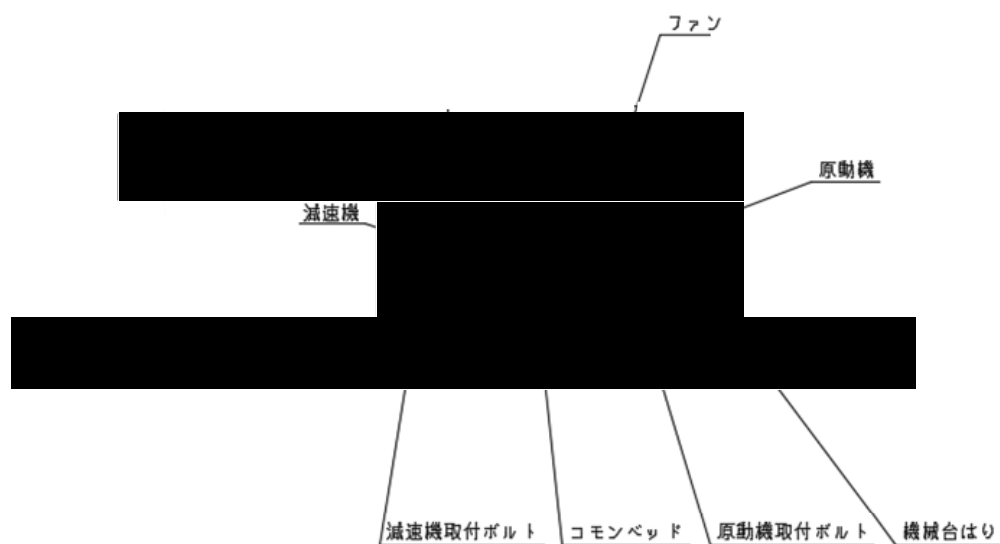
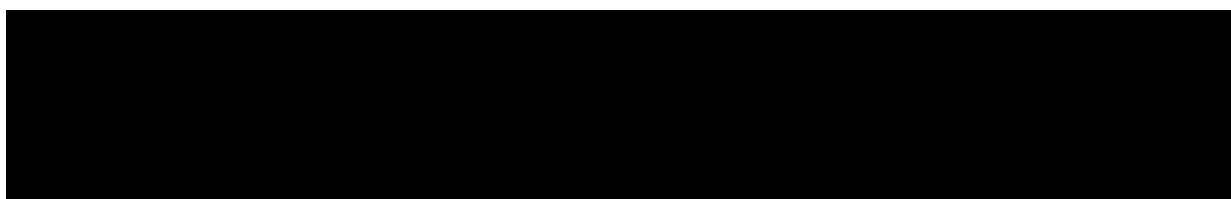


2. 固有周期の算出方法

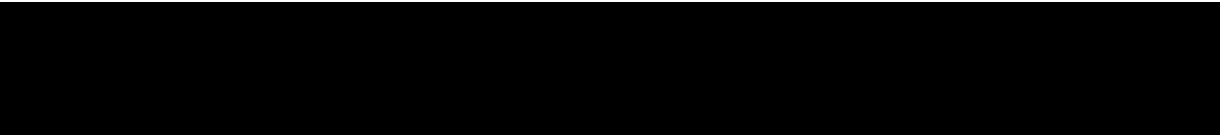


冷却

塔ファンの外形図を第2.-1図に示す。

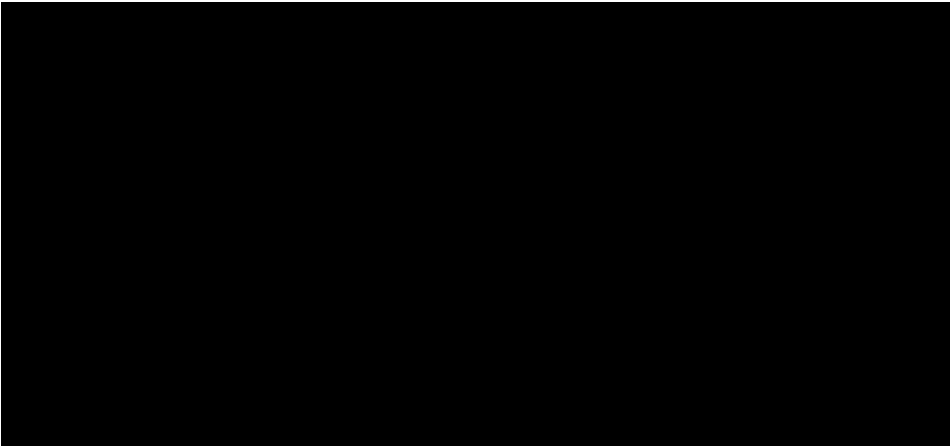


第2.-1図 冷却塔ファン外形図



計算モデルを第2.-2

図に示す。



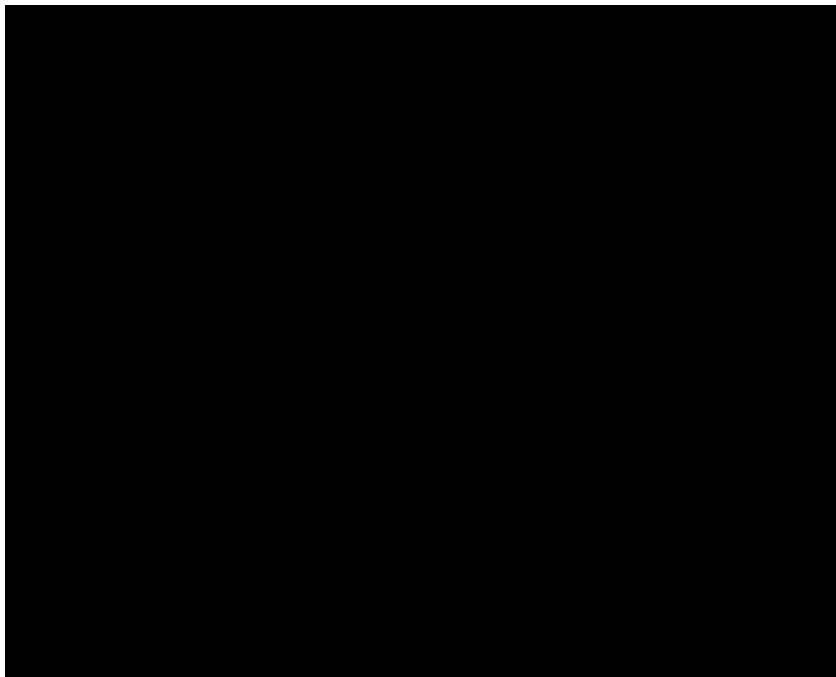
第2.-2図 計算モデル

冷却塔ファンの固有周期Tは下記に示す算出式にて求める。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K \cdot 10^3}}$$



なお、各ばね定数は下記に示す算出式にて求める。



3. 固有周期の算出結果

固有周期の算出に用いる機器要目及び算出結果を表3-1に示す。

表3-1 機器要目及び算出結果

記号	記号説明	値	単位
			MPa
			mm ²
			mm ²
			mm
			mm
			MPa
			—
			mm
			N/m
			N/m
			N/m
K	全体ばね定数		N/m
m	機器質量		kg
T	固有周期		確認結果※
			良

※閾値である 0.05s に対する判定