

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-40-55_改1
提出年月日	2021年11月2日

補足-600-40-55 中性子束計測案内管の解析モデルの妥当性に関する補足説明資料

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-3-4-3-11 中性子束計測案内管の耐震性についての計算書」（以下「耐震計算書」という。）において中性子束計測案内管（以下「案内管」という。）の耐震計算に使用している解析モデル（以下「解析モデル」という。）の妥当性について説明するものである。

解析モデルを図1に示す。

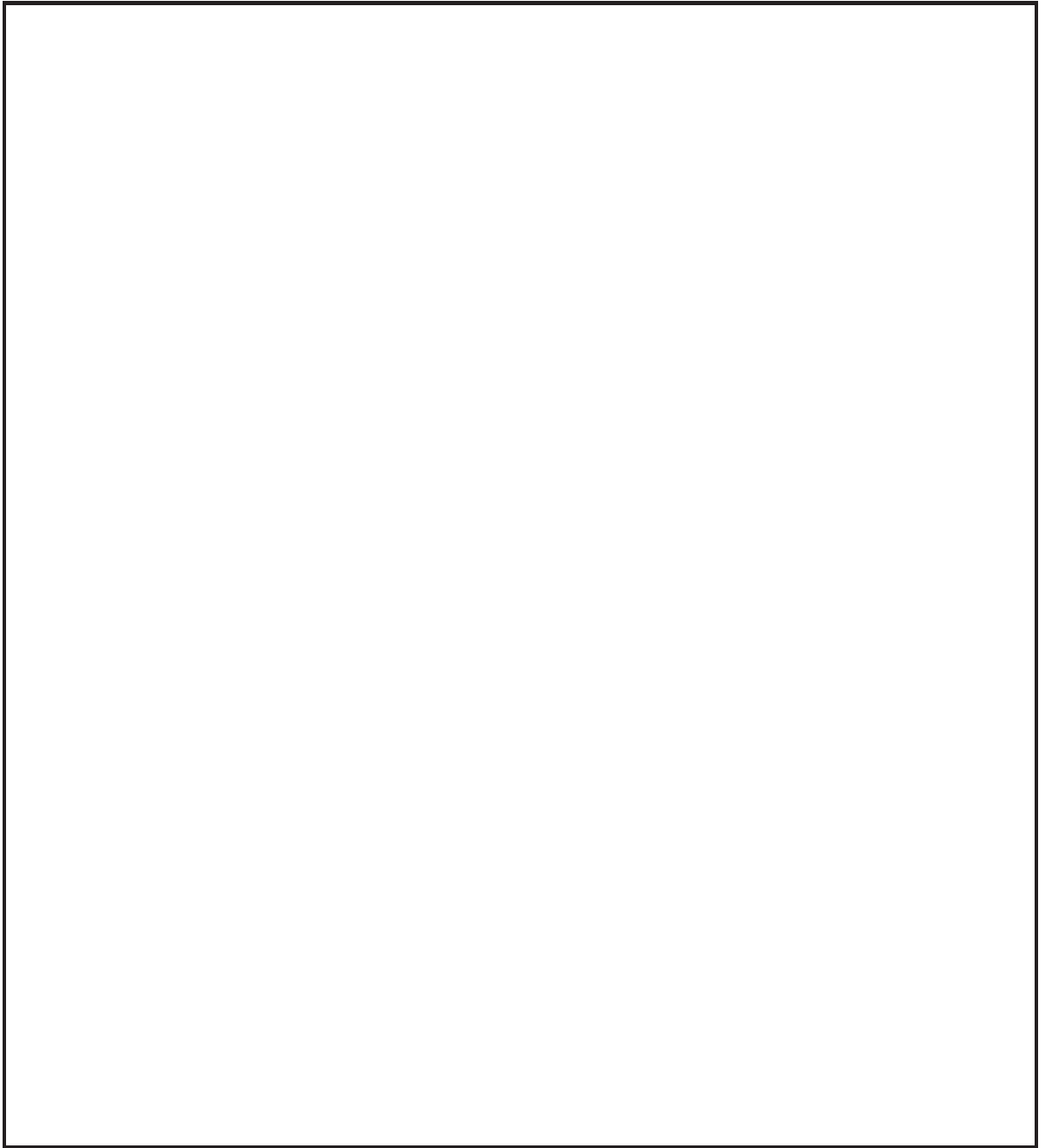


図1 解析モデル

2. 固有周期の計算

2.1 固有周期の計算方法

以下のように一様断面はりの固有振動数の公式^[1]を用いて固有振動数 f を計算し、固有周期を求める。

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E I}{\rho A}}$$

λ : 振動数係数

ℓ : 長さ (m)

E : 縦弾性係数

I : 断面二次モーメント : 案内管の例)

ρ : 密度 : 1次モードの固有振動数計算の例)

A : 断面積 : 案内管の例)

2.2 計算モデル

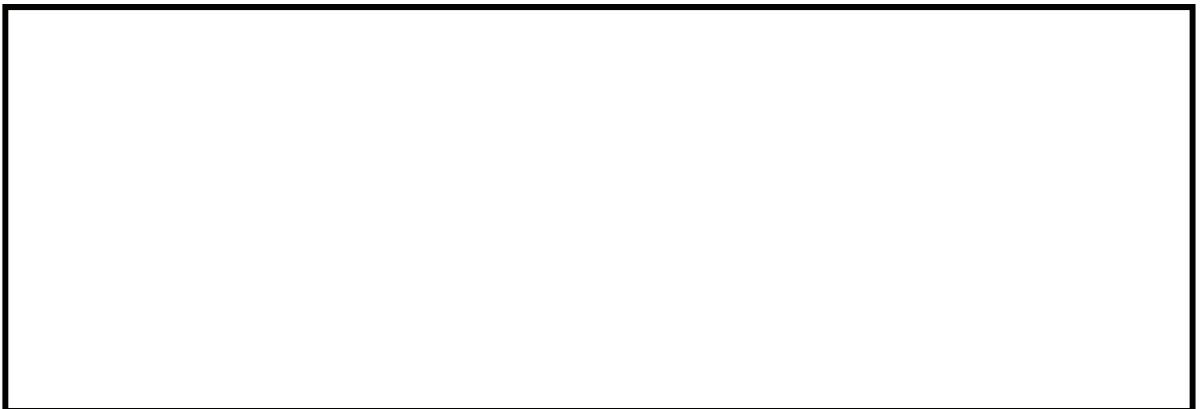


図 2-1～図 2-4 に案内管の振動モード図を示す。

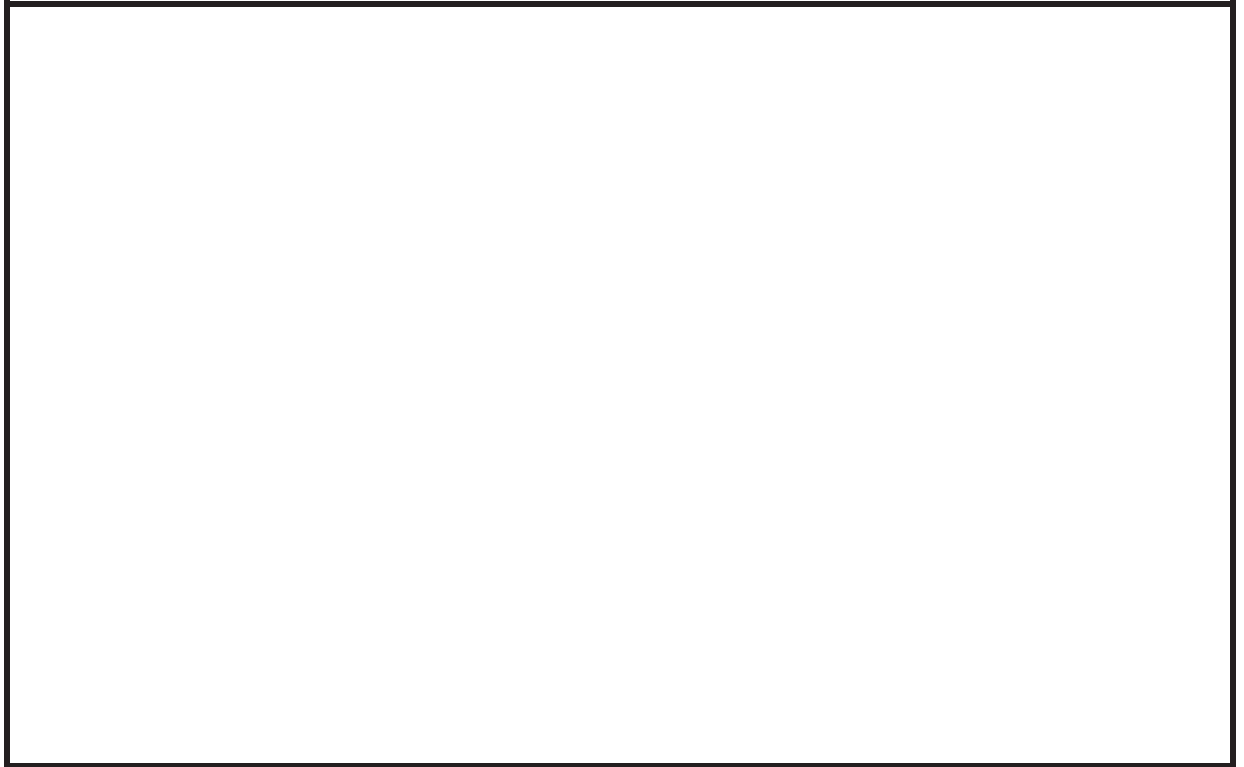


図 2-1 案内管の振動モード図（1次）

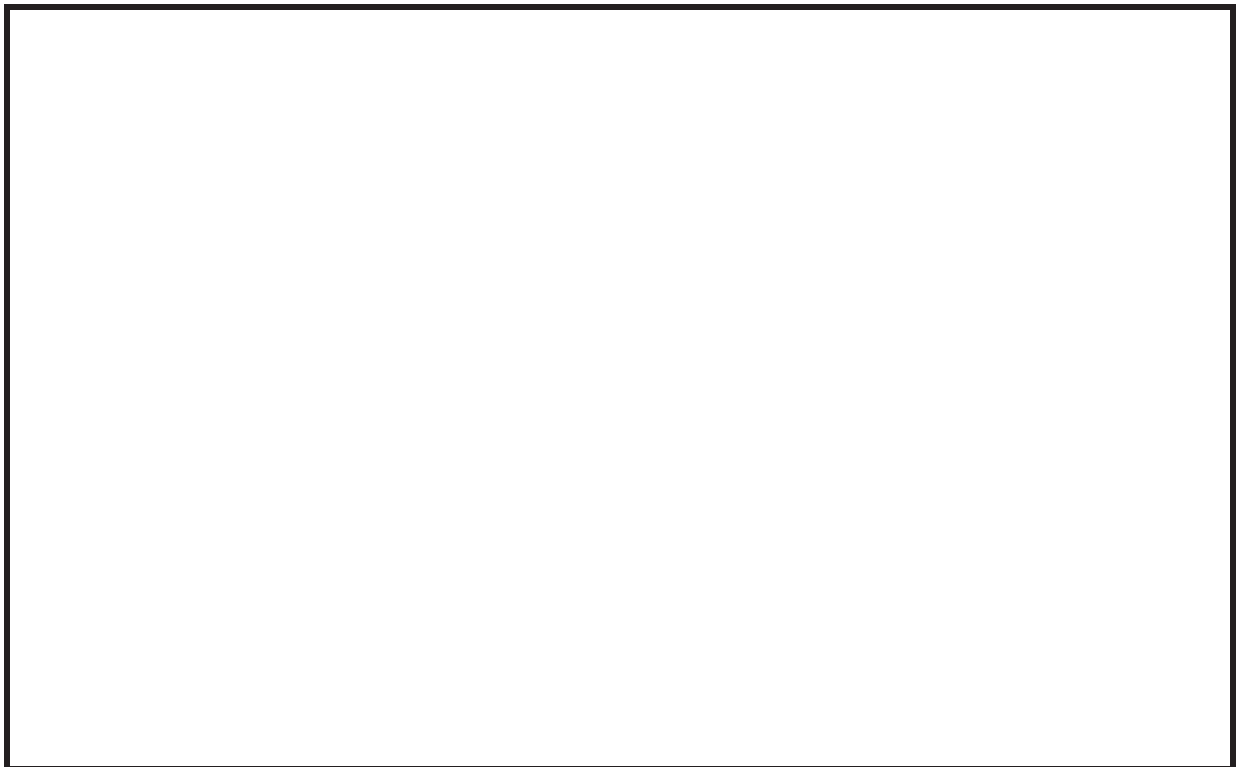


図 2-2 案内管の振動モード図（2次）

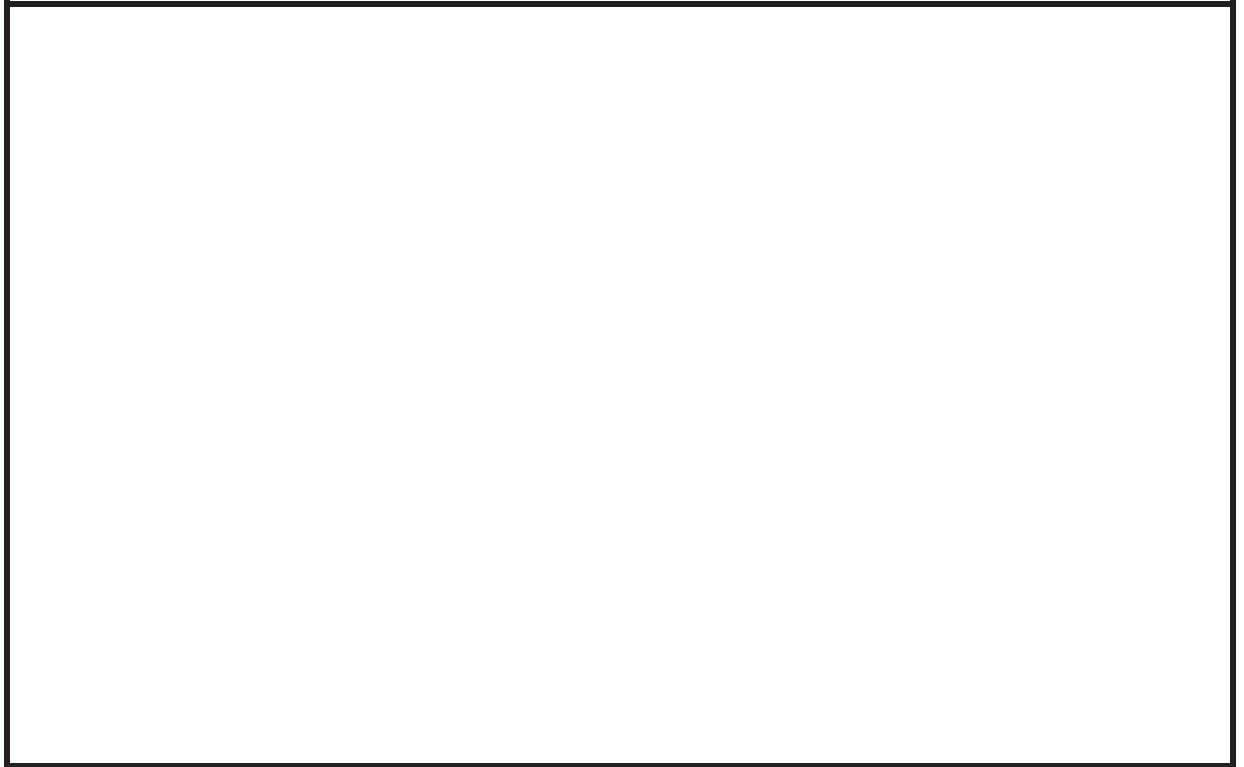


図 2-3 案内管の振動モード図 (3 次)

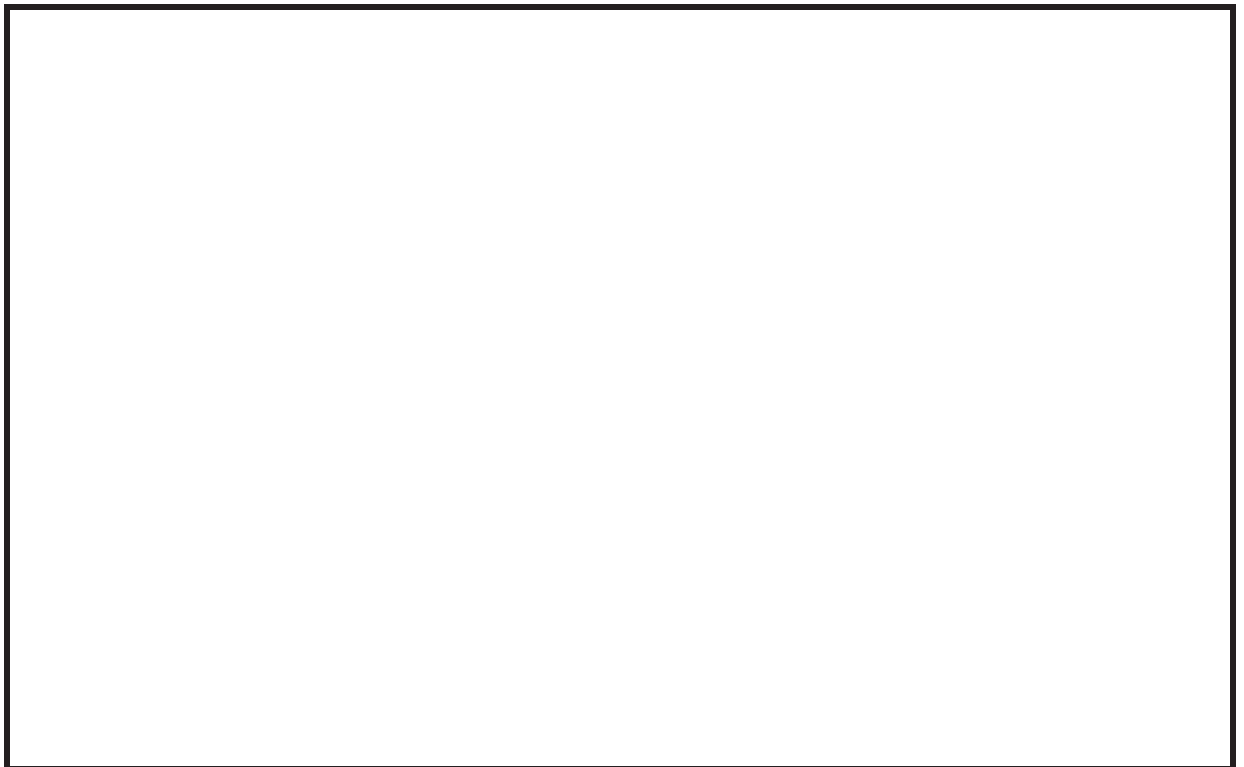


図 2-4 案内管の振動モード図 (4 次)

2.2.1 拘束条件

計算モデルにおける拘束条件は以下の通りとする。

【1次】

下端（下部鏡板への取付溶接部）：

上端（炉心支持板への差込部）：

【2次～4次】

下端（下部鏡板への取付溶接部）：

上端（インコアスタビライザ取付部）：

2.2.2 質量

2.1 の一様断面はりの固有振動数の公式では、はりの断面積と密度の積により、はりの質量が考慮される。

2.2.3 曲げ剛性

実機は、中性子束計測ハウジング（以下「ハウジング」という。）と案内管の2種類の断面をもつはりであるが、ことから、全長で案内管の断面性状をもつ一様断面はりとして、1次固有振動数を算出する。また、解析モデルにはハウジングの部分があることから、断面性状の影響を確認するために、全長でハウジングの断面性状をもつ一様断面はりの1次固有振動数を算出する。

（計算モデル） 全長で、案内管 の断面性状をもつ一様断面はり

（影響確認モデル） 全長で、ハウジング の断面性状をもつ一様断面はり

2.2.4 計算モデルの長さ

1次モードにおいては解析モデルの固有周期は、表 2-1 に示す全ての案内管の平均長さより算出する。参考のため、G1 及び G5 の平均長さより固有周期を算出する。

2～4 次モードにおいては表 2-2 に示す各モードで振動している各々のグループの当該部の平均長さより固有周期を算出する。

表 2-1 解析モデルの長さ（1次モード）（単位：mm）

	案内管	ハウジング (平均長さ)	全長 (平均長さ)
下部鏡板の中央部取付 G1 (最長グループ)			
下部鏡板の中央部取付 G5 (最短グループ)			
G1～G5 の全ての平均			

表 2-2 解析モデルの長さ（2次～4次モード）（単位：mm）

	案内管	ハウジング (平均長さ)	全長 (平均長さ)
G1 のインコアスタビライザ ～下部鏡板の長さ			
G2 のインコアスタビライザ ～下部鏡板の長さ			
G3 のインコアスタビライザ ～下部鏡板の長さ			

2.3 固有周期の計算結果

「2.1 固有周期の計算」及び「2.2 計算モデル」に基づき、固有振動数 f を計算し、固有周期を算出し、解析モデルの固有周期と比較した結果を表 2-3 及び表 2-4 に示す。

表 2-3 固有周期の比較結果（1次モード）（単位：s）

次数	解析モデル	計算モデル（案内管）		影響確認モデル（ハウジング）	
	固有周期（s）	固有周期（s）	モデルの長さ（mm）	固有周期（s）	モデルの長さ（mm）
1次					

*1：参考記載

*2：表 2-1 の G1～G5 の全ての平均の全長（平均長さ）

*3：表 2-1 の下部鏡板の中央部取付 G1（最長グループ）の全長（平均長さ）

*4：表 2-1 の下部鏡板の中央部取付 G5（最短グループ）の全長（平均長さ）

表 2-4 固有周期の比較結果（2次～4次モード）（単位：s）

次数	解析モデル	計算モデル（案内管）	
	固有周期（s）	固有周期（s）	モデルの長さ（mm）
2次			
3次			
4次			

*1：表 2-2 の G1 のインコアスタビライザ～下部鏡板の長さの全長（平均長さ）

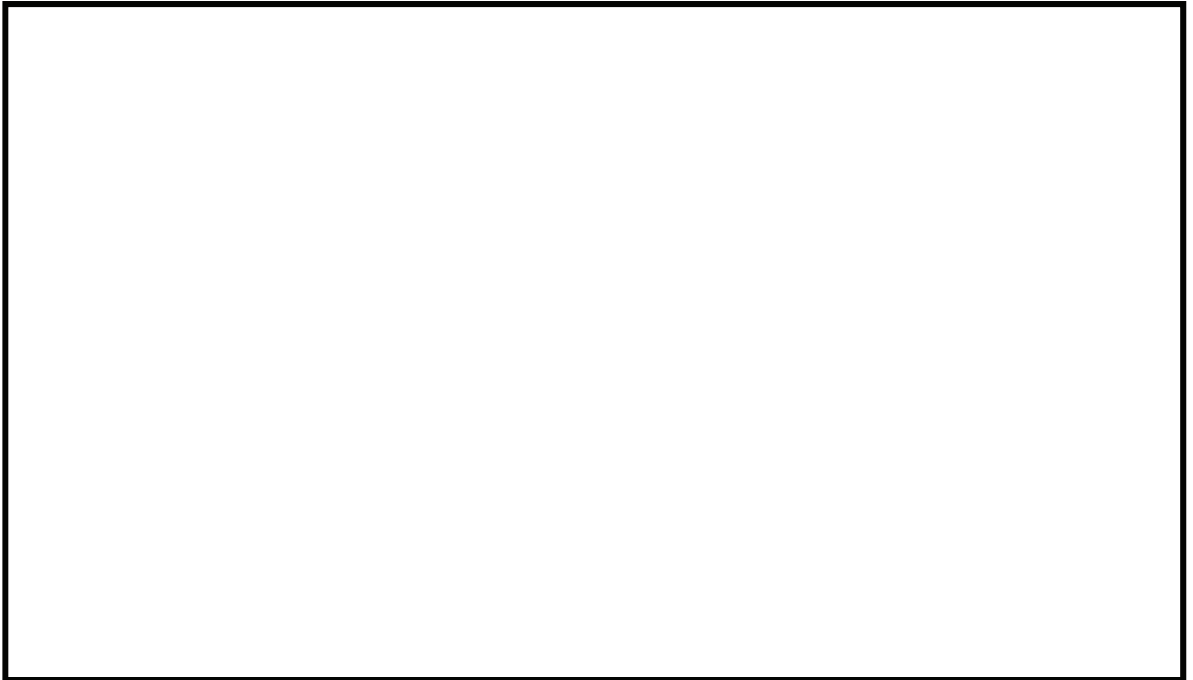
*2：表 2-2 の G2 のインコアスタビライザ～下部鏡板の長さの全長（平均長さ）

*3：表 2-2 の G3 のインコアスタビライザ～下部鏡板の長さの全長（平均長さ）

3. 地震荷重の計算

3.1 地震荷重の計算方法

解析モデルによる地震荷重計算結果の妥当性確認のため、等分布荷重を受けるはりの公式^[2]を用いた簡易計算による検証を行う。



3.2 地震荷重の計算結果

計算の結果、当該部の曲げモーメントは [] と算出された。解析モデルによって算出された曲げモーメントは [] でありよく一致した。

4. 妥当性の確認

4.1 固有周期の確認結果

解析モデルによる案内管の1次モードにおける固有周期は、全長で案内管の断面性状をもつ一様断面はりの計算モデルで算出された固有周期とよく一致していることが確認された。また、 []



[] これは、断面が異なる案内管とハウジングの組合せはりである実機構造に対し、一様断面はりとした計算モデルで固有周期がよく一致していることの一つと考えられる。

解析モデルによる案内管の2次～4次モードにおける固有周期は計算モデルにおける固有周期よりわずかに短くなった。これは、計算モデルではインコアスタビライザ位置までをモデル化し、固有周期の計算を行ったが、解析モデルにおいては、案内管の上部部分（炉心支持板～インコアスタビライザ）があり、上部部分の振動モードが

影響して、固有周期が短くなったものと考えられ、これを含めて考えれば、解析モデルによる固有周期は実機の評価として妥当と考えられる。

上記のように、固有周期の計算結果は一様断面はりの計算モデルによって解析モデルで算出される固有周期がよく再現でき、固有周期の面で解析モデルが妥当であることが確認された。

また、影響確認計算として実施した全長でハウジングの断面性状をもつ一様断面はりの計算モデルで算出された固有周期は、解析モデルの固有周期に対し、の差異にとどまり、当該部で使用した床応答スペクトル(図4参照)で震度を確認すると、が最大であった。その上、床応答スペクトルは±10%拡幅して設定されていること、及び、を考慮すれば、耐震評価上問題ないといえる。

4.2 地震荷重の確認結果

「3. 地震荷重の計算」に示すように、耐震計算書記載値は応答スペクトルから算出される加速度による等分布荷重を負荷したはりの公式計算結果によって、解析結果と同等の曲げモーメントが算出された。

結果として当該部の曲げモーメントが大きくなることが想定される。また、1次のモード以外の高次のモードの影響が加わる。はりの公式計算による曲げモーメントと解析結果のわずかな差異に関し、これらの影響を考慮すれば、解析モデルで算出される曲げモーメントは実機の評価として妥当と考えられる。

上記のように解析結果とはりの公式計算による地震荷重(曲げモーメント)がよく一致することから、解析モデルは耐震評価上問題ないといえる。

以上より、案内管耐震計算の解析モデルの妥当性が確認された。

5. 参考文献

- [1]機械工学便覧 新版 A3 編
- [2]機械工学便覧 新版 A4 編

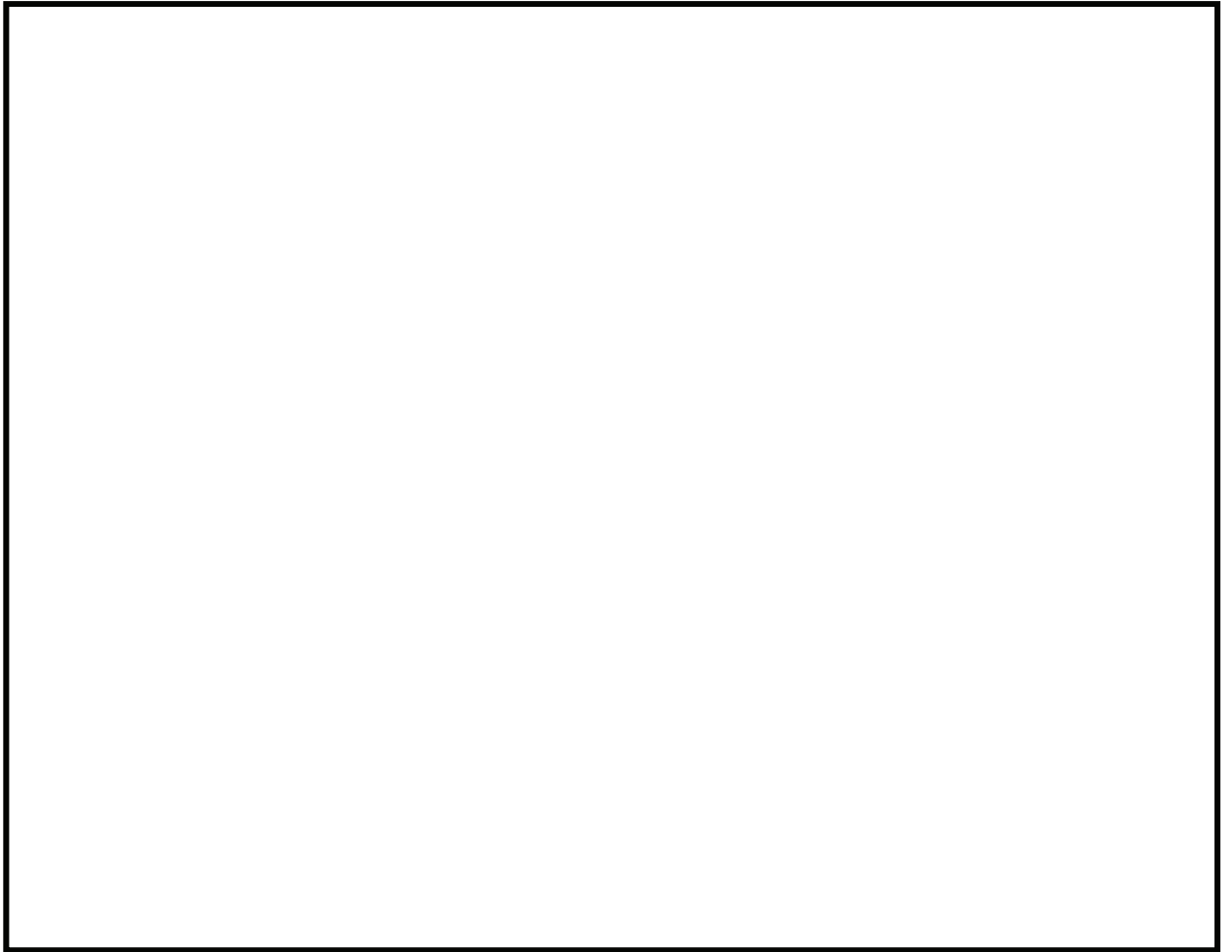


図 4 床応答スペクトル