

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-19-0600-40-11_改1
提出年月日	2021年8月19日

補足-600-40-11 配管解析における重心位置スペクトル法の
適用について

1. 概要

配管のスペクトルモーダル解析において、配管モデルの重心位置の床応答スペクトルを単一入力で用いる手法（以下「重心位置スペクトル法」という。）は、PCV 内のような空間に配置された配管については従来から適用しており、今回の管の耐震性についての計算書の配管解析についても適用している。以下にその手法の妥当性を示す。

2. 重心位置スペクトル法について

配管系は、同じ建屋内の複数階、あるいは異なる建屋の間に渡って設置されることが多く、各支持点では異なった地震入力を受けるため、複数の床応答スペクトルを入力に用いる多入力解析法を適用することにより実現象に近い結果が算出される。しかしながら、実設計においては設計合理性等の観点より、床応答スペクトルの単一入力による解析を実施している。重心位置スペクトル法では、配管モデルの重心位置を求め、その重心位置レベルの上階の床応答スペクトルを単一入力で適用することを原則としている。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

・「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」

3. 重心位置スペクトル法を適用する妥当性

上記重心位置スペクトル法を適用することの妥当性を示すものとして、J E A Gでの記載及び（財）原子力工学試験センターにおける検討を示す。

(1) J E A G 4 6 0 1-1987⁽¹⁾の記載

J E A G 4 6 0 1-1987には以下の記載があり、重心位置スペクトル法が適用できると判断される。

「設計用床応答スペクトルは、当該系の重心位置に近い或いは耐震支持点の最も多い床のもの等最も適切な床のものを採用することを基本とするが、耐震安全性評価上必要ある場合は関連する床応答スペクトルによる多入力解析又はそれと同等の近似解析法を用いることができる。」（添付-1 参照）

(2) （財）原子力工学試験センターにおける耐震設計の高度化に関する調査報告書^{(2), (3)}

参考文献に示す（財）原子力工学試験センターにおける、耐震設計の高度化に関する調査報告書にて、重心位置の床応答スペクトルを用いた耐震解析が、実現象に対して保守性を有していることが確認されている。（添付-2 参照）

4. 参考文献

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月）
- (2) 昭和 63 年度 耐震設計の高度化に関する調査報告書 別冊 2（機器系）（（財）原子力工学試験センター 平成元年 3 月）
- (3) 平成 2 年度 耐震設計の高度化に関する調査報告書 別冊 2（機器系）（（財）原子力工学試験センター 平成 3 年 3 月）

電気技術指針
原子力編

原子力発電所耐震設計技術指針

JEAG 4601-1987

社団法人 日本電気協会
電気技術基準調査委員会

場合は既述する非応答スペクトルによる多入力解析又はそれと同等の近似解析法を用いることができる。

スペクトルウェイト関数法においては、考慮すべきモードは、その影響係数が無視し得ない程度のものでとし、その重畳法は加算法、互立、平方、支点反力等の重畳法である。定数に対してそれぞれ Square Root of the Sum of the Squares 法 (以下「SRSS」法という。)とする。

地震動による応答と水平静的応答の組合せは非対称効果を採用するものとする。原子炉格納容器、原子炉圧力容器、炉内構造物は、その構造体の質量、多様な耐震支荷法、応答相対応答率の重要性により原子炉格納容器と構成した解析モデル又は分離したサブストラクチャー法に類似したモデルによる時刻歴応答解析法の採用を原則とする。ただし、上記のような特殊な重要構造物でなくとも、構造物、耐震支保点の地震応答加算法適用、変位係数を入力として対象構造物の時刻歴応答解析法に基づいた動的応答力を算定することは適当でない。

地震 A 応答は、高層建築物等による解析には、S1設計用応答スペクトルに基いた設計用応答スペクトルを用いて解析法を用いて解析設計することは適当でないが、原則に当該系の解析を詳細して、上記のような構造物、耐震支保点からの入力による非線形時刻歴応答解析法を採用することもできる。

耐震 B ナラスのもの、その基本固有振動数から共振のおそれがあるものと判断されるものは、S1設計用応答スペクトル[2]のスペクトルに基づいて動的解析を行い、その耐震安全性を確認するものとする。

なお、地震応答解析には、安全支保がないことを示した上で近似法又は簡便法を用いることができる「定常モード法」及び「非線形動的解析のみによる応答解析法等」、解析モデル。

耐震 C は、1本か多本あるいはせん断モード系、配管等はより次元多変数一価で取り扱えるモード系、その目的振動はこれに類似したモード系を原則とする。ただし、非線形解析等でそのモード振動の解析が必要なもの、大型非線形モデルでその振動の解析が必要なもの等では、その特性を解析するに十分なモデルとしなければならない。多変数系(非線形系)の代りに連体性(非線形系)又はその報告した系とすること、あるいは非線形系によるモードとすることは適当でない。

耐震 D 耐震系は、耐震設計を基本としているので通常の場合は耐震点と仮定してはならないが、相当程度の影響を有する等でも、支持した構造・配管系の耐震に比較して高層も高い剛性を有していないもの場合は、その支持剛性を考慮するものとする。アンカー等でもその力学的特性から判断して必要あればその剛性(例は耐震ボルト・ナット、アンカープレート、吊钩ボルト等)を考慮するものとする。

また、耐震 C の場合の耐震点の位置は、系の解析した各要素の重心とすることをも基本とし、原則的に表中質量がある場合(配管系のボンプ等)はその点とする。質量の配は

6.1.3 耐震の組合せと許容限界

耐震の組合せと許容限界についての原則を以下に示すが、詳細は各支保と管線の二上。

(1) 河川の組合せ

- a. 地震動によって引き起こされるおそれのある事例については、その耐震を組合せる。
- b. 地震動によって引き起こされるおそれのない事例については、その構造の発生確率と河川の発生確率及び地震の発生確率を比べ、同時に発生する確率が低い場合にはその組合せを考慮するものとする。

(2) 許容限界

- a. A 応答
 - (a) 構造地震動 S1 又は静的地震による地震力と他の地震とを組合せた場合には、原則として許容状態にあるようにする。
 - (b) 構造地震動 S2 による地震力と他の地震とを組合せた場合には、原則として過大な変位がないようにする。
- b. A ナラス
 - 土貯蔵、河と河に
 - 及びボルトナラス

6.1.4 設計用地震力

設計用地震力は、設備の耐震性能に対応した標準地震動及び輸送状態に基づき算定するものとする。

6.1.5 地震応答解析

(1) 応答解析法一般

設備・配管系は、その耐震性能に示した動的地震力に加えられるように設計するが、地震 A、A ナラスは静的地震力と共に動的地震力に対しても耐えられるように設計する。また、ボルトナラスは、地震を含む支持構造物の振動と共振するおそれのあるものは、ボルトナラスの動的地震力によってその安全性を評価する。

動的地震力は、地震応答解析によって算定されるが、設備・配管系の免震応答解析は、耐震 C の設計用応答スペクトルに基づいたスペクトルウェイト関数法を採用することとする。

設計用応答スペクトルは、当該系の重心位置に近い低い免震支保点の震度も多いもの等最も適切なものを選択することを基本とするが、耐震安全が確保される

昭和 63 年 度

耐震設計の高度化に関する調査報告書

別 冊 2 (機器系)

平成元年 3 月

(財)原子力工学試験センター

表5-22 最大発生応力比較

(単位: kg/cm²)

		時刻歴 多入力解析	スペクトル 多入力解析	スペクトル 単一入力(EL24.3)	スペクトル 単一入力(EL31.8)
剛 領 域 モ デ ル	2.5%	2.3	2.9	2.9	2.9
	5.0%	—	2.3	2.2	2.3
	10.0%	—	1.9	1.7	1.9
	20.0%	—	1.6	1.5	1.6
共 振 領 域 モ デ ル	2.5%	18.5	19.0	19.2	27.5
	5.0%	—	12.5	12.6	17.9
	10.0%	—	8.2	8.3	11.5
	20.0%	—	5.4	5.4	7.3
柔 領 域 モ デ ル	2.5%	12.1	12.1	13.0	17.8
	5.0%	—	8.5	9.1	11.3
	10.0%	—	5.9	6.3	7.3
	20.0%	—	4.5	5.0	6.1

重心近傍

包絡スペクトル
と同等

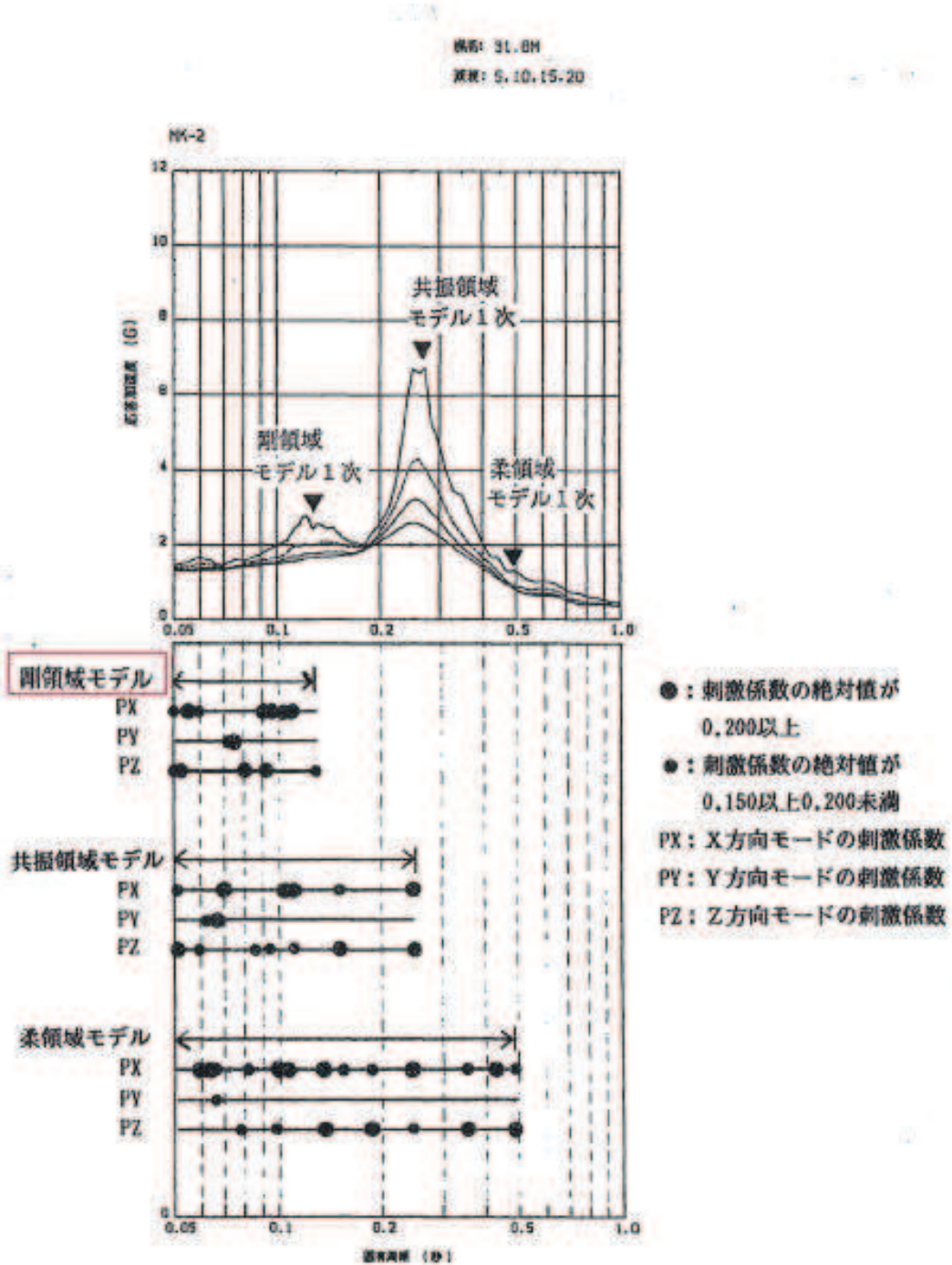


図5-46 固有値とスペクトルの関係

平成 2 年 度

耐震設計の高度化に関する調査報告書

別 冊 2 (機器系)

平成 3 年 3 月

(財)原子力工学試験センター

3.2 多入力を受ける配管系について柔設計導入のための合理的な解析手法の検討

(1) 現行設計ベースにおける検討

昨年度までの各種試解析結果及び本年度実施した単純配管モデルによる検討結果より、各種解析法による応答の大小関係は以下の通りであることがわかった。

包絡応答スペクトルを用いた単一入力解析 (1.00~1.49)

V

重心位置近傍応答スペクトルを用いた単一入力解析 (1.00~1.25)

V

各支持点の応答スペクトルを用いた多入力解析 (1.0)

IV

各支持点の時刻歴波を用いた多入力解析 (0.79~1.00)

カッコ内には、本調査で実施した試解析結果に基づき、多入力スペクトルによる応答を1.0に基準化した各種解析の相対応答値を示した。