

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添5-049
提出年月日	2023年2月9日

VI-5-49 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ m k _ F R S

2023年2月

中国電力株式会社

目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
2.1 mk_FRS Ver. 8.1	3
2.2 mk_FRS Ver. 8.4	4
3. 解析手法	5
3.1 一般事項	5
3.2 解析コードの特徴	5
3.3 解析手法	5
3.4 解析フローチャート	7
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	8
3.5.1 検証	8
3.5.2 妥当性確認	12
3.5.3 評価結果	12

1. はじめに

本資料は、VI-2-別添3-2において使用した計算機プログラム（解析コード）mk_FRSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 8.1

2. 解析コードの概要

2.1 mk_FRS Ver. 8.1

項目 \ コード名	mk_FRS
使用目的	床応答スペクトルの作成
開発機関	中電技術コンサルタント株式会社
開発時期	2021年
使用したバージョン	Ver. 8.1
コードの概要	<p>本解析コードは、耐震設計に使用する床応答スペクトルを作成することを目的としており、加速度応答時刻歴から応答スペクトルを計算する機能、複数の応答スペクトルの包絡値を求める機能及び応答スペクトルの拡張機能を有する。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・別解析コードISCEFによる応答スペクトルと本解析コードで作成した応答スペクトルを比較し、一致していることを確認している。 ・包絡機能については、手計算により包絡した床応答スペクトルと、本解析コードで作成した算出値を比較し、一致していることを確認している。 ・拡張機能については、手計算により拡張した床応答スペクトルと、本解析コードで作成した算出値を比較し、一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今回の工事計画認可申請で使用する機能は応答スペクトルの作成機能であるため、同一の入力条件に対する1自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、別解析コードISCEFと本解析コードの結果を比較することで、妥当性を確認している。 ・応答スペクトルを作成する際、入力とする加速度応答時刻歴の時間刻み幅、データの形式は、上述の妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。 ・加速度応答時刻歴の時間刻み、固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1-1987に従っており、妥当性に問題ない。 ・今回の工事計画認可申請における床応答スペクトル、加速度応答時刻歴に対し、使用用途及び方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.2 mk_FRS Ver. 8.4

コード名	mk_FRS
項目	
使用目的	床応答スペクトルの作成
開発機関	中電技術コンサルタント株式会社
開発時期	2022年
使用したバージョン	Ver. 8.4
コードの概要	本解析コードは、耐震設計に使用する床応答スペクトルを作成することを目的としており、加速度応答時刻歴から応答スペクトルを計算する機能、複数の応答スペクトルの包絡値を求める機能及び応答スペクトルの拡幅機能を有する。
検証(Verification)及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・別解析コードISCEFによる応答スペクトルと本解析コードで作成した応答スペクトルを比較し、一致していることを確認している。 ・包絡機能については、手計算により包絡した床応答スペクトルと、本解析コードで作成した算出値を比較し、一致していることを確認している。 ・拡幅機能については、手計算により拡幅した床応答スペクトルと、本解析コードで作成した算出値を比較し、一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今回の工事計画認可申請で使用する機能は応答スペクトルの作成機能であるため、同一の入力条件に対する1自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、別解析コードISCEFと本解析コードの結果を比較することで、妥当性を確認している。 ・応答スペクトルを作成する際、入力とする加速度応答時刻歴の時間刻み幅、データの形式は、上述の妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。 ・加速度応答時刻歴の時間刻み、固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1 -1987に従っており、妥当性に問題ない。 ・今回の工事計画認可申請における床応答スペクトル、加速度応答時刻歴に対し、使用用途及び方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本書は、建物・構築物の地震応答解析から算出される加速度応答時刻歴から応答スペクトルを作成する解析コードである mk_FRS (以下、「本解析コード」という)の説明書である。

本解析コードは、一定の固有周期及び減衰定数を有する 1 質点系の与えられた加速度応答時刻歴に対する最大応答加速度を計算し、応答スペクトルを求める。また、固有周期と減衰定数が同一の系で計算された複数の応答スペクトルの包絡値を求めて、床応答スペクトルの作成を行う。

3.2 解析コードの特徴

解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・ 加速度応答時刻歴から固有周期及び減衰定数に応じた応答スペクトルの算出
(最大応答加速度の計算においては、1自由度系(1質点)の運動方程式の解を数値積分法により求める。本解析コードでは、数値積分法としてニガム法を用いる。)
- ・ 複数の応答スペクトルを包絡した床応答スペクトルの作成

3.3 解析手法

質点の相対変位を x 、固有円振動数を ω 、減衰定数を h 、地動の加速度時刻歴を $\ddot{y}(t)$ としたとき、系の運動方程式は、

$$\ddot{x} + 2 \cdot h \cdot \omega \cdot \dot{x} + \omega^2 \cdot x = -\ddot{y}(t) \quad (3.1)$$

と表される。 t は一定時間間隔 Δt ごとに与えられて、 \ddot{y}_i と \ddot{y}_{i+1} の間を直線によって補間し、 t_i を原点とする区間 $t_i \sim t_{i+1}$ 内の局所的な時間を τ 、 $\Delta \ddot{y} = \ddot{y}_{i+1} - \ddot{y}_i$ とすれば、

$$\ddot{y}(t) = \frac{\Delta \ddot{y}}{\Delta t} \cdot \tau + \ddot{y}_i \quad 0 \leq \tau \leq \Delta t$$

と表される。(3.1)式は区間的に

$$\ddot{x}(\tau) + 2 \cdot h \cdot \omega \cdot \dot{x}(\tau) + \omega^2 \cdot x(\tau) = -\frac{\Delta \ddot{y}}{\Delta t} \cdot \tau - \ddot{y}_i \quad 0 \leq \tau \leq \Delta t$$

となる。

この非同時微分方程式を解いて、区間のはじめ時刻 t_i における初期条件

$$\tau = 0 : x = x_i, \dot{x} = \dot{x}_i$$

を与えれば、区間の終わり $\tau = \Delta t$ (時刻 $t_{i+1} = t_i + \Delta t$) における相対変位応答及び相対速度応答は次のような形で求まる。

$$x_{i+1} = A_{11} \cdot x_i + A_{12} \cdot \dot{x}_i + B_{11} \cdot \ddot{y}_i + B_{12} \cdot \ddot{y}_{i+1} \quad (3.2)$$

$$\dot{x}_{i+1} = A_{21} \cdot x_i + A_{22} \cdot \dot{x}_i + B_{21} \cdot \ddot{y}_i + B_{22} \cdot \ddot{y}_{i+1}$$

ここで、 A, B は $\omega, h, \Delta t$ が定まれば一意に定まる係数である。 x_{i+1}, \dot{x}_{i+1} が定まれば、絶対加速度応答は(3.1)式より

$$(\ddot{x} + \ddot{y})_{i+1} = -(2 \cdot h \cdot \omega \cdot \dot{x}_{i+1} + \omega^2 \cdot x_{i+1}) \quad (3.3)$$

によって求められる。したがって、 $t=0$ における応答の初期値 $x_1 = 0$

$$\dot{x}_1 = -\ddot{y}_1 \cdot \Delta t$$

$$(\ddot{x} + \ddot{y})_1 = 2 \cdot h \cdot \omega \cdot \ddot{y}_1 \cdot \Delta t$$

を与えれば、後は(3.2)式と(3.3)式によって応答値が算出される。

3.4 解析フローチャート

本解析コードを用いて行う解析フローチャートを図3.4-1に示す。

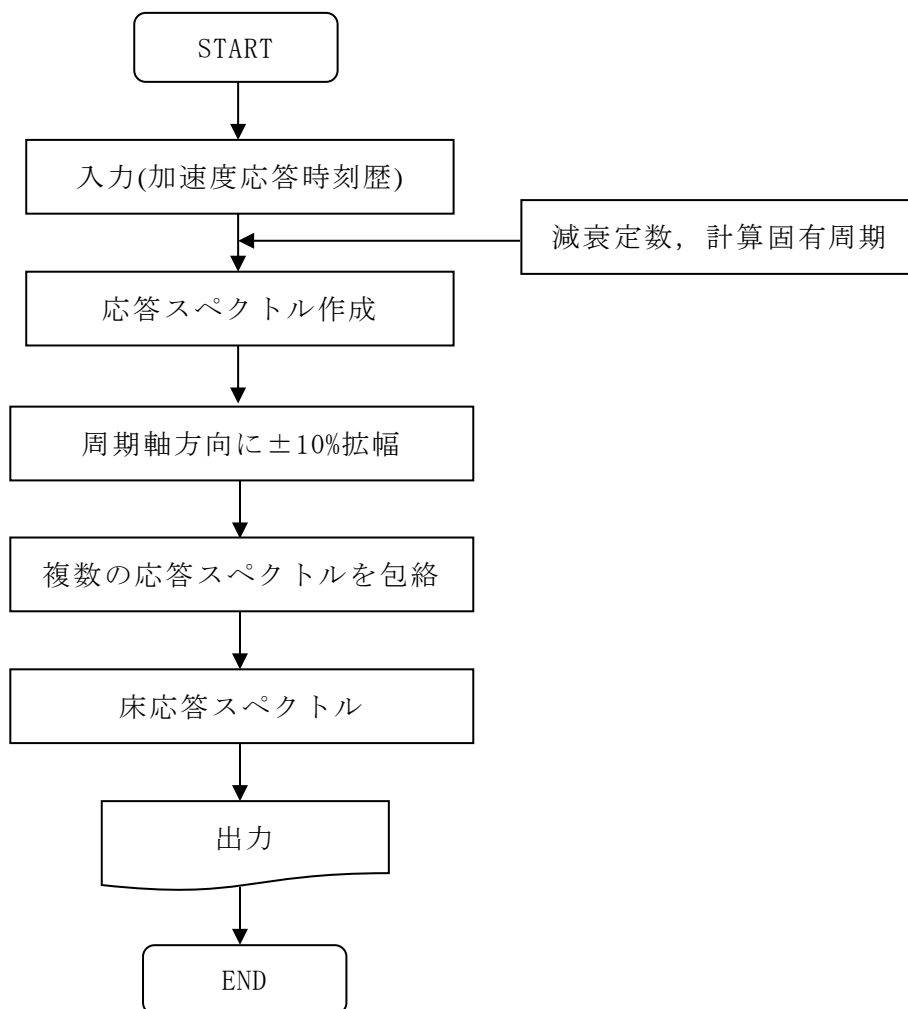


図3.4-1 解析コード「mk_FRS」を用いた解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

3.5.1 検証

(1) 応答スペクトル作成機能

別解析コードISCEFによる応答スペクトルと本解析コードで作成した応答スペクトルを比較することで、本解析コードの検証を行った。

検証に用いた加速度応答時刻歴を図3.5-1に示す。また、別解析コードと本解析コードで作成した応答スペクトルを比較したものを図3.5-2に示す。図3.5-2より、本解析コードの結果は、別解析コードの結果と、よく一致していることが分かる。

(2) 包絡機能

本解析コードの包絡機能は、2つの応答スペクトルをプロットした図を確認して選定した手計算値と、本解析コードで作成した算出値の比較により検証した。図3.5-3に本解析コードVer8.1による包絡結果、図3.5-4に本解析コードVer.8.4による包絡結果を示すように、正しく包絡されていることが分かる。

(3) 拡幅機能

本解析コードの拡幅機能は、2つの応答スペクトルをプロットした図を確認して選定した手計算値と、本解析コードで作成した算出値の比較により検証した。図3.5-5に本解析コードによる拡幅結果を示すように、正しく拡幅されていることが分かる。

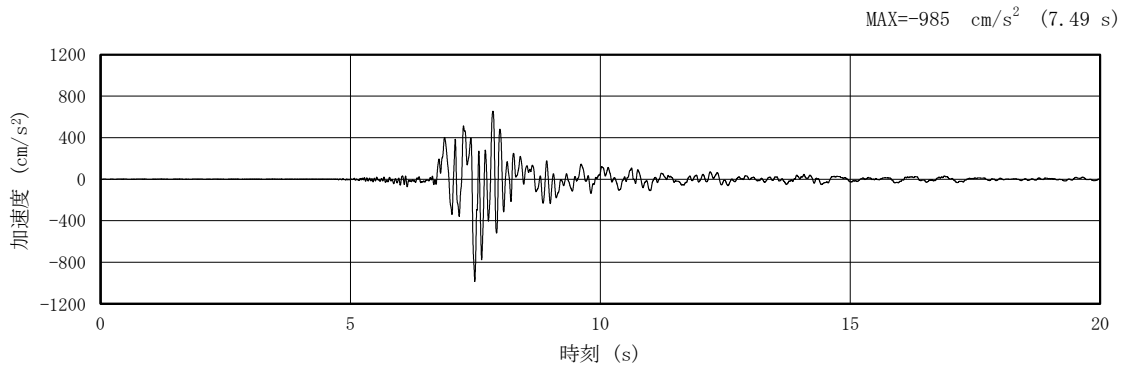


図3.5-1 検証に用いた加速度応答時刻歴の波形

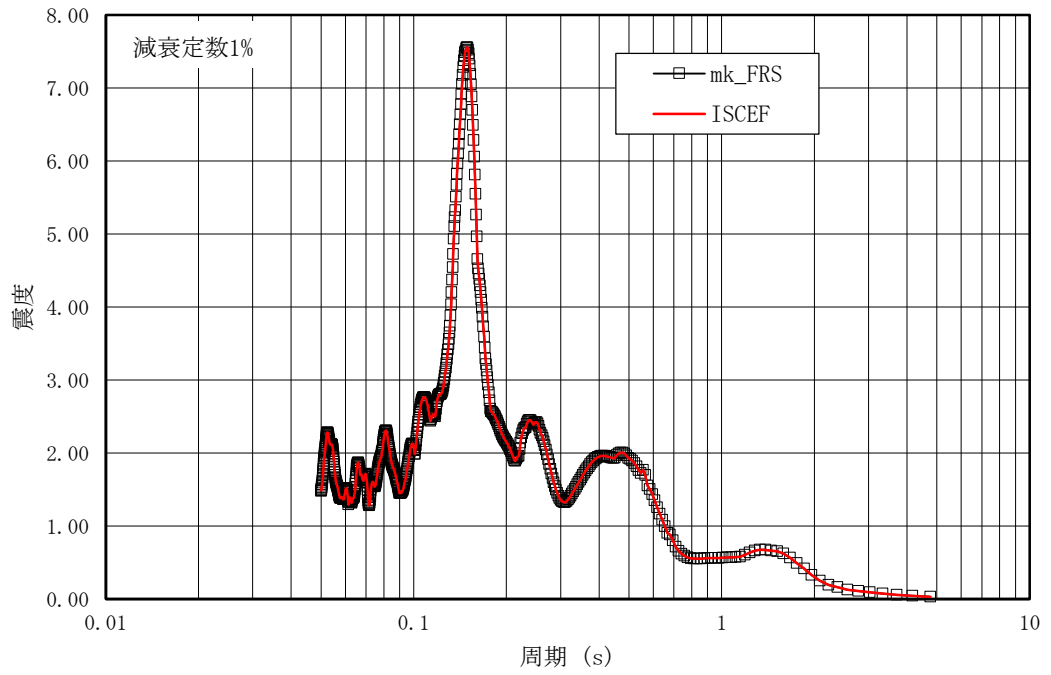


図3.5-2 応答スペクトルの解析結果比較

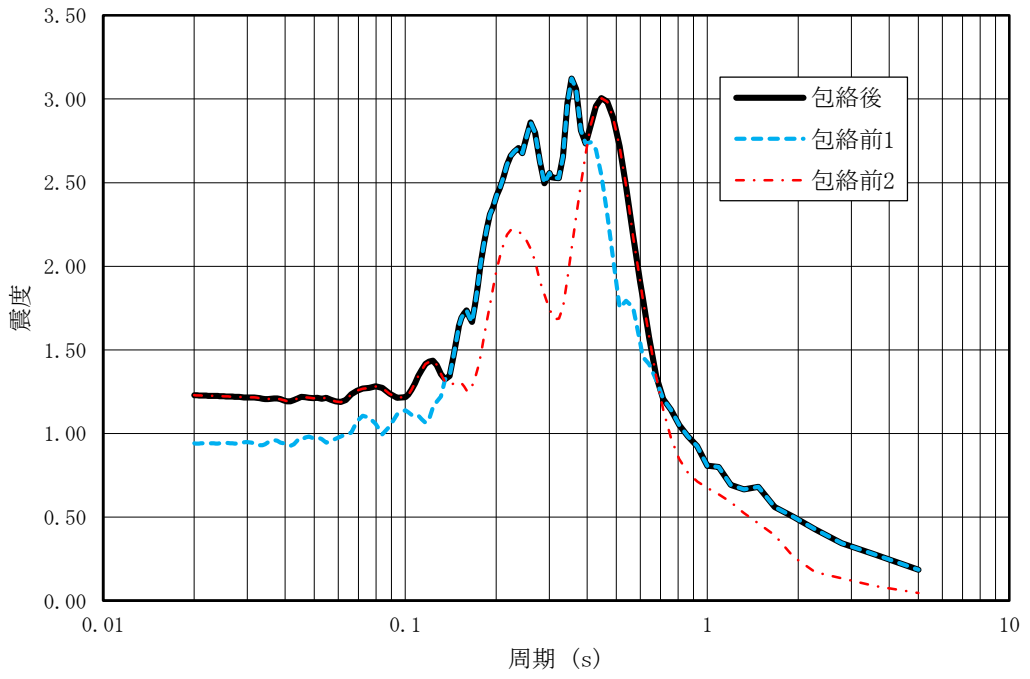


图3.5-3 包絡結果

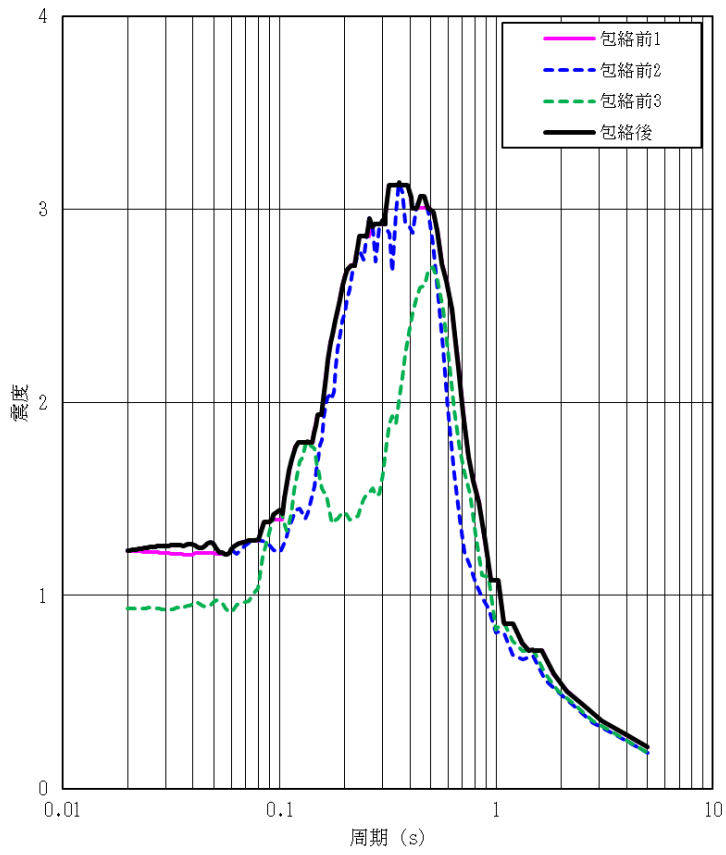


图3.5-4 包絡結果

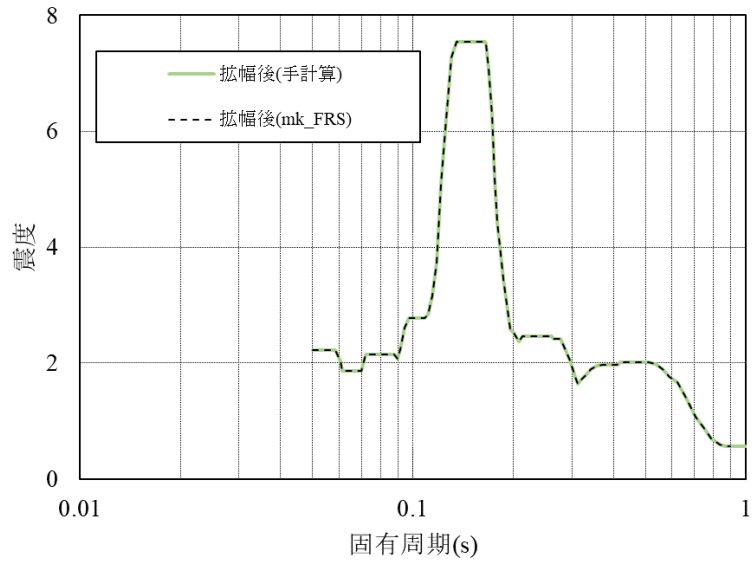


図3.5-5 拡幅結果

3.5.2 妥当性確認

本解析コードの妥当性確認内容は、以下のとおりである。

- ・今回の工事計画認可申請で使用する機能は、応答スペクトルの作成機能であるため、同一の入力条件に対する1自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、別解析コードであるISCEFと本解析コードの結果を比較することで、妥当性を確認している。
- ・応答スペクトルを作成する際、入力とする加速度応答時刻歴の時間刻み幅、データの形式は、上述の妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。
- ・加速度応答時刻歴の時間刻み、固有周期計算間隔はJ E A G 4 6 0 1 -1987に従っており、妥当性に問題ない。
- ・今回の工事計画認可申請における床応答スペクトル、加速度応答時刻歴に対し、使用用途及び方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3.5.3 評価結果

3.5.1及び3.5.2より、本解析コードを使用目的に示す床応答スペクトルの作成に用いることは妥当である。