

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1081 改0
提出年月日	平成30年8月28日

- V-5-63 計算機プログラム（解析コード）の概要
- 波形処理プログラム k-WAVE for Windows (k-WAVE)

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
3. k-WAVE Ver. 6.2.0の解析手法について	4
3.1 一般事項	4
3.2 解析コードの特徴	4
3.3 解析手法	4
3.4 解析フローチャート	6
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	7

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）k-WAVE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
V-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	6.2.0

2. 解析コードの概要

項目	コード名 波形処理プログラム k-WAVE for Windows (k-WAVE)
使用目的	設計用床応答曲線の作成
開発機関	(株) 構造計画研究所
開発時期	1998年
使用したバージョン	Ver 6.2.0
コードの概要	<p>波形処理プログラム k-WAVE for Windows (以下「k-WAVE」という。)は、加速度時刻歴から床応答曲線を作成するプログラムであり、建物・構築物床応答時刻歴から設計用床応答曲線を作成することを目的とする。</p> <p>一定の固有周期および減衰定数を有する1質点系の、与えられた加速度時刻歴に対する最大応答加速度を計算し、周期と減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答曲線の包絡値を求め、また床応答曲線の拡幅を行う。</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の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「Seismic Analysis System (SAS)」により作成した設計用床応答曲線と本解析コードで作成した設計用床応答曲線とを比較し、概ね一致していることを確認した。 ・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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で使用する機能は床応答スペクトルの作成機能であり、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毎に算定し、別解析コードSAS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。 ・設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は、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。 ・10%拡幅、時刻歴波の時間刻み、固有周期計算間隔はJ E A G 4 6 0 1-1987に従っており、妥当性は確認されている。 ・本工事計画における使用用途及び使用方法に関して、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. k-WAVE Ver. 6.2.0 の解析手法について

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時刻歴から床応答スペクトルを作成する解析コードである k-WAVE Ver6.2.0 の説明書である。

本解析コードは、一定の固有周期および減衰定数を有する 1 質点系の、与えられた加速度時刻歴に対する最大応答加速度を計算する。また、周期と減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答スペクトルの包絡値を求め、拡幅した床応答曲線の作成を行う。

3.2 解析コードの特徴

k-WAVE における 1 自由度系を用いた床応答スペクトルの作成は、ニガム法を用いることにより行う。

主な特徴を下記に示す。

- ・ 加速度時刻歴から周期及び減衰定数に応じた床応答スペクトルを作成する。
- ・ 複数の床応答スペクトルを包絡させた床応答スペクトルに対して拡幅した設計用床応答曲線を作成する。

3.3 解析手法

各床面での加速度時刻歴を入力とする 1 自由度系における応答について、減衰定数をパラメータとして以下ニガム法より算出する。

各質点における相対変位を 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，

$$\ddot{x} + 2h\omega\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{y}(t) \quad (1) \text{式}$$

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

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

と表される。(1)式は区間的に

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

となる。この非同次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

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

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および相対速度応答は，次のような形で求まる。

$$\left. \begin{aligned} x_{i+1} &= A_{11}x_i + A_{12}\dot{x}_i + B_{11}\ddot{y}_i + B_{12}\ddot{y}_{i+1} \\ \dot{x}_{i+1} &= A_{21}x_i + A_{22}\dot{x}_i + B_{21}\ddot{y}_i + B_{22}\ddot{y}_{i+1} \end{aligned} \right\} \quad (2)\text{式}$$

ここで， A ， B は， ω ， h ， Δt 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(1)式より

$$(\ddot{x} + \ddot{y})_{i+1} = -(2h\omega\dot{x}_{i+1} + \omega^2x_{i+1}) \quad (3)\text{式}$$

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

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 \\ \dot{x}_1 &= -\dot{y}_1\Delta t \\ (\ddot{x} + \ddot{y})_1 &= 2h\omega\ddot{y}_1\Delta t \end{aligned}$$

を与えれば，後は(2)式と(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た解析フローチャートを図 3-1 に示す。

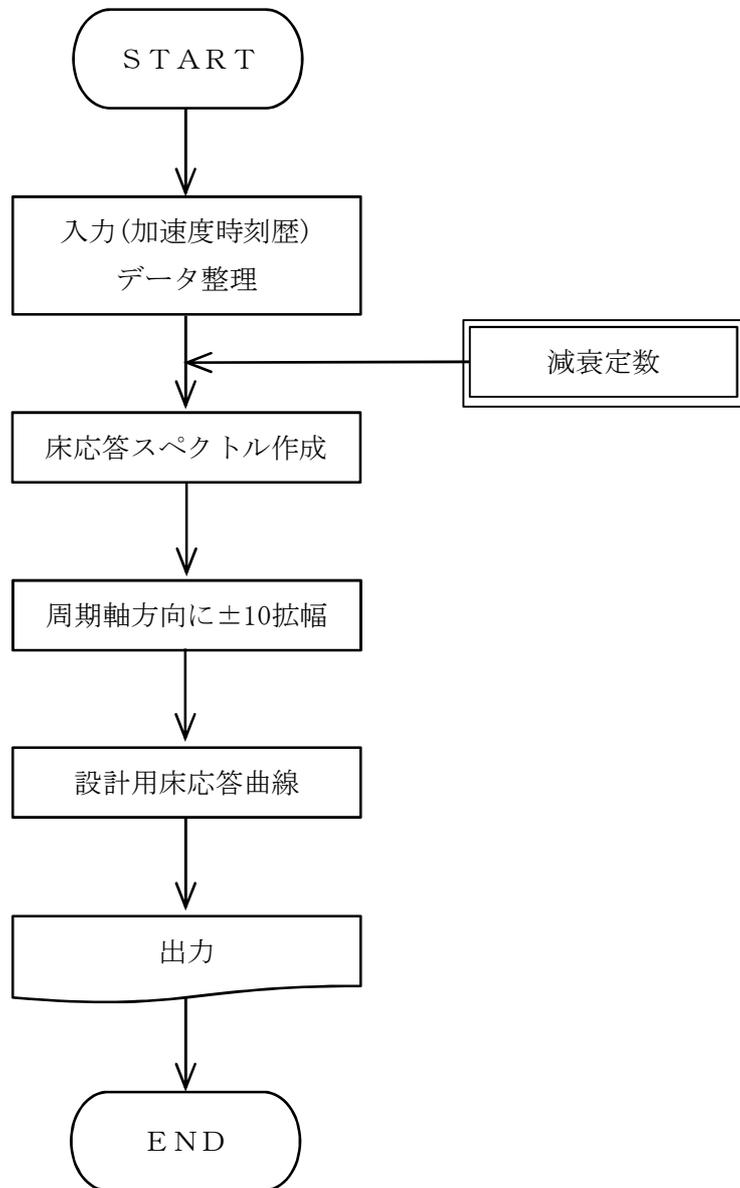


図3-1 解析フローチャート

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

3.5.1 検証 (Verification)

(1) 検証の概要

別解析コードにて作成した床応答スペクトルを包絡, 拡張した設計用床応答曲線(検証用データ)と本解析コードで同様に作成した設計用床応答曲線 (k-WAVEデータ) の加速度 (震度) を比較することで, 本プログラムの検証を行った。

表 1 検証内容における比較項目

検証内容	比較項目
設計用床応答曲線	応答加速度 (震度)

(2) 検証条件

東海第二発電所原子炉建屋地震応答解析結果から得られた基準地震動 S_s に対する加速度時刻歴を用いた。検証に用いた加速度時刻歴は, 水平方向としてNS方向及びEW方向の質点1 (EL. 63.65m), 質点6 (EL. 29.00m) 及び質点11 (EL. -4.00m) の応答を用いた。また, 設計用床応答曲線の作成するための減衰定数は, 機器・配管系の耐震計算に適用される0.5%, 1.0%, 2.0%及び5.0%とした。図1に水平方向の原子炉建屋地震応答解析モデルを示す。

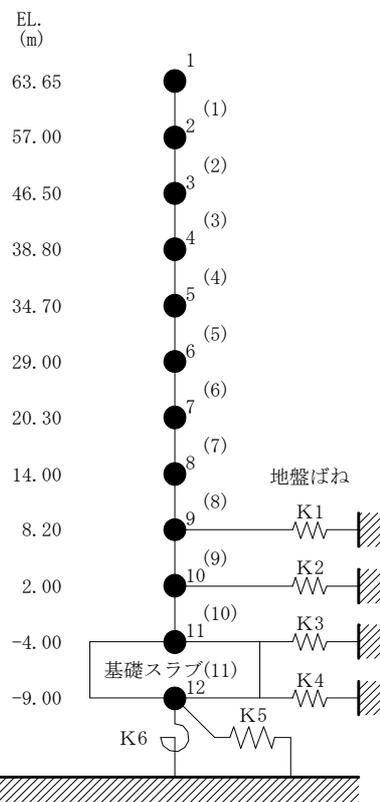


図1 原子炉建屋地震応答解析モデル (水平方向)

(3) 解析結果の比較

各検証条件のもと作成した設計用床応答曲線について、検証用データとk-WAVEデータとを比較した結果を図2～図4に示す

(5) 検証結果

前項に示す設計用床応答曲線（固有周期と応答加速度（震度））の比較結果のとおり、両者は一致しており、k-WAVE を用いて得られた計算結果の妥当性を確認した。

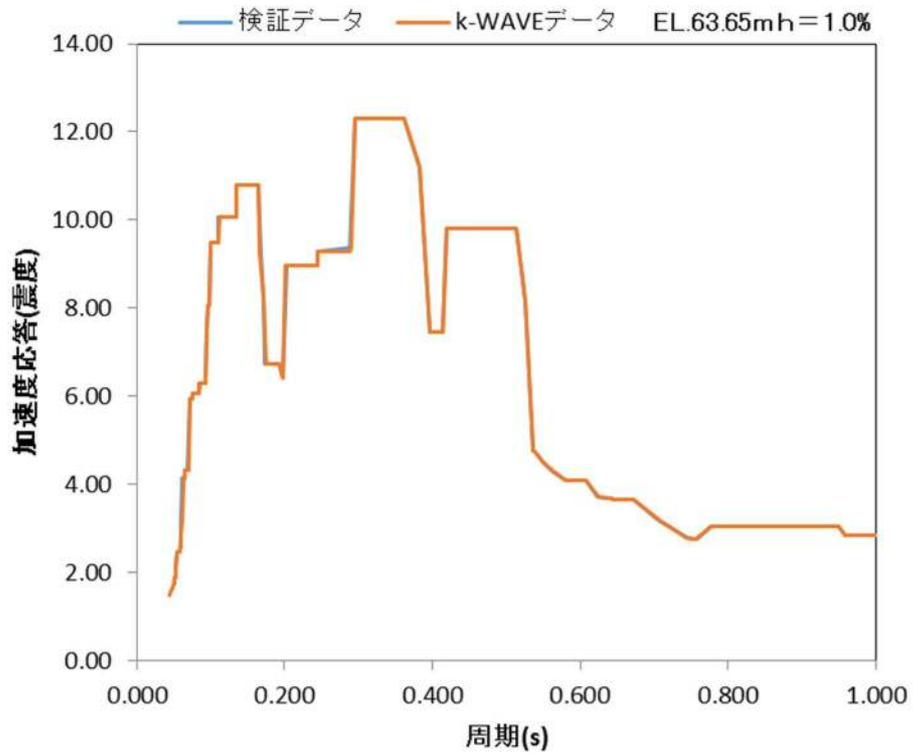
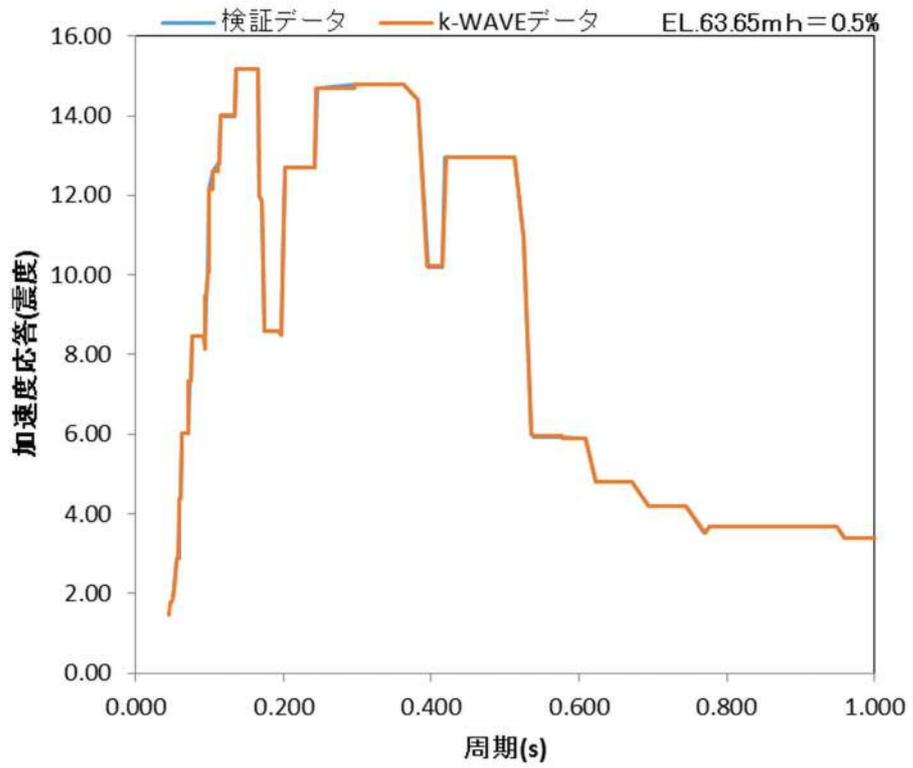


図 2(1) 検証用データと k-WAVE データとを比較した結果 (EL. 63. 65m)

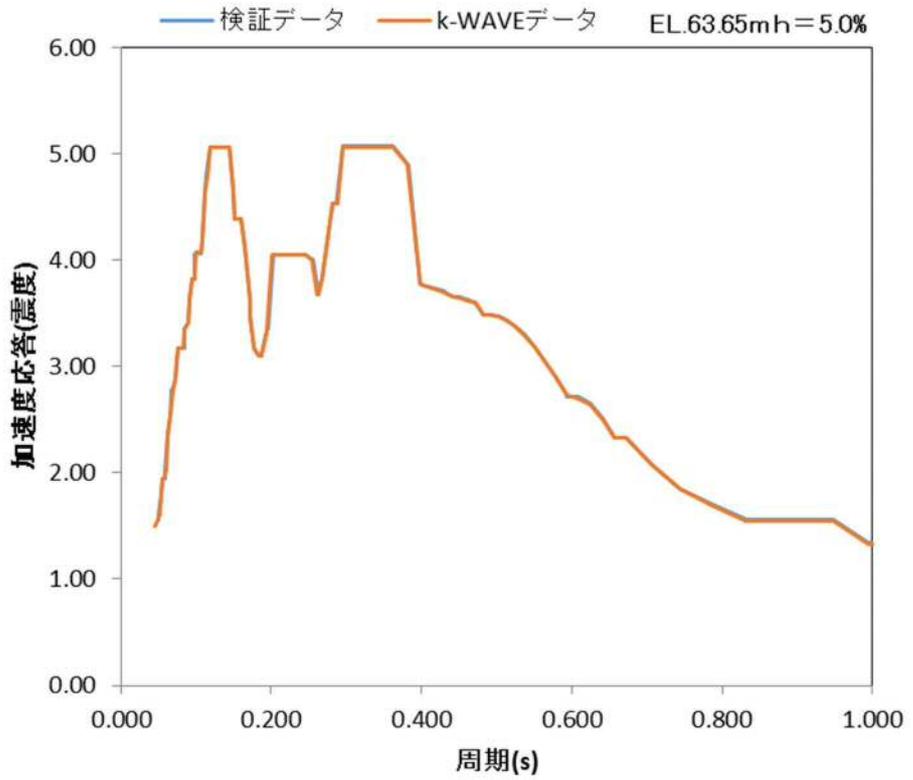
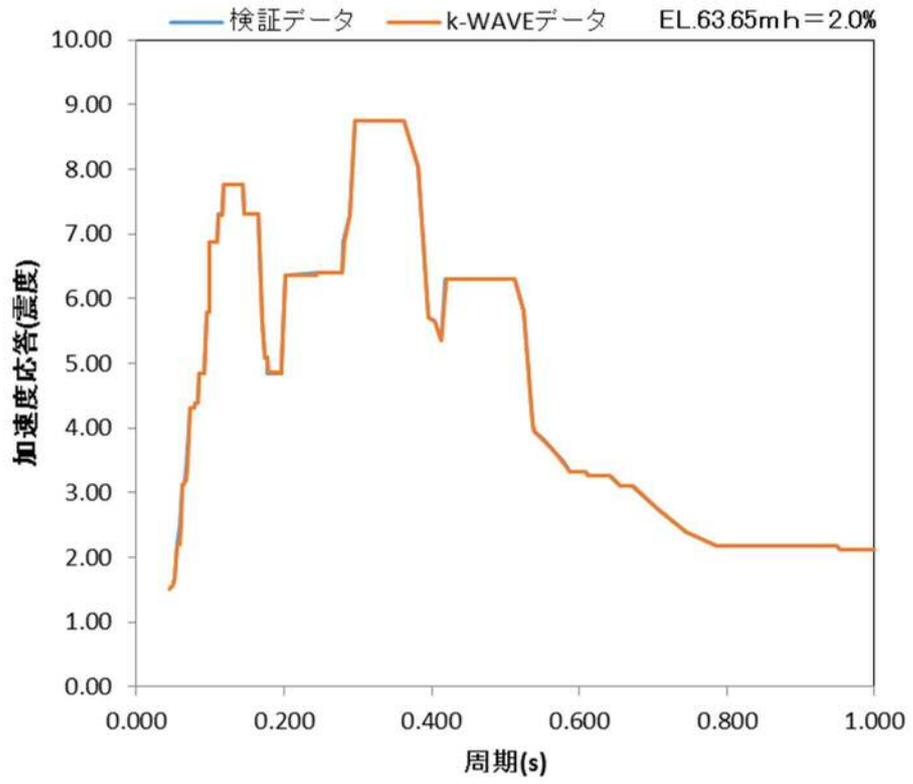


図 2(2) 検証用データと k-WAVE データとを比較した結果(EL. 63. 65m)

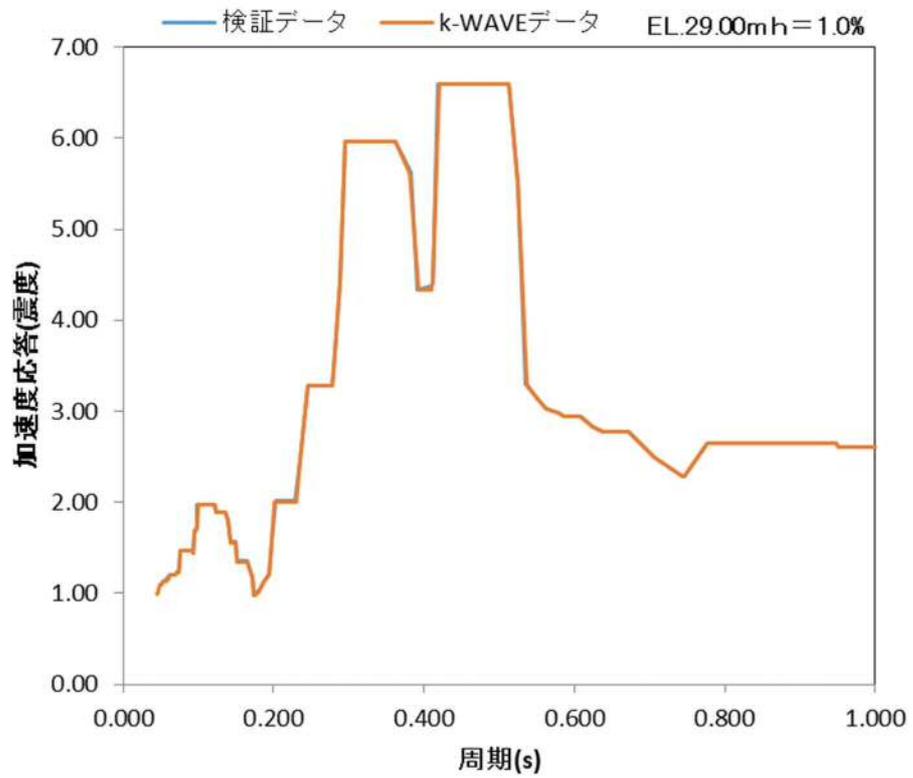
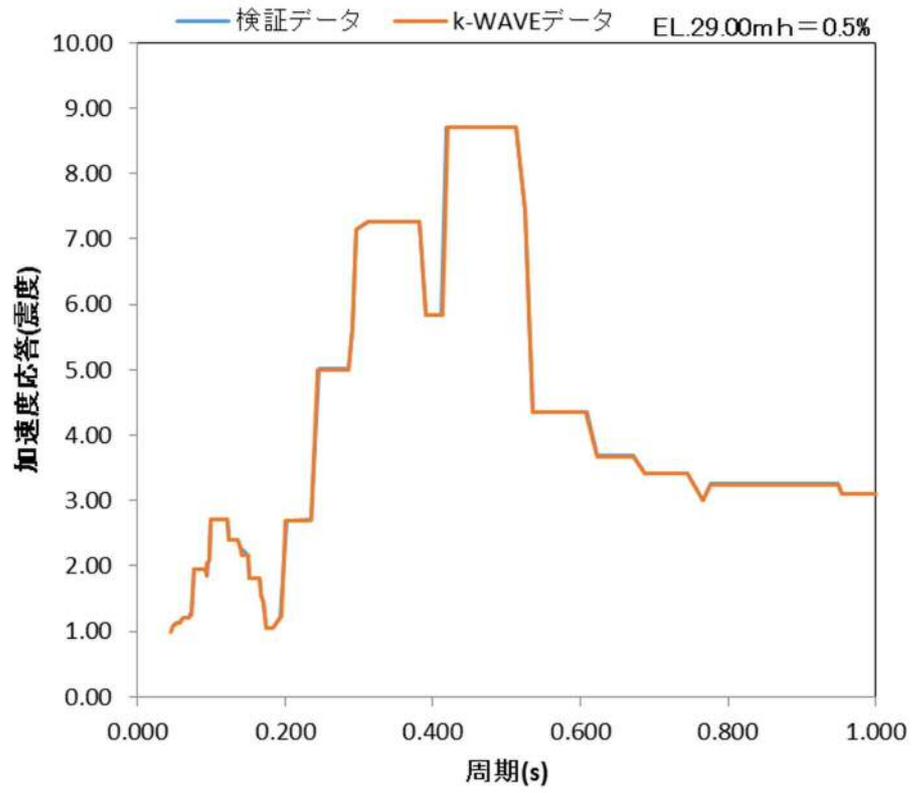


図 3(1) 検証用データと k-WAVE データとを比較した結果(EL. 29.00m)

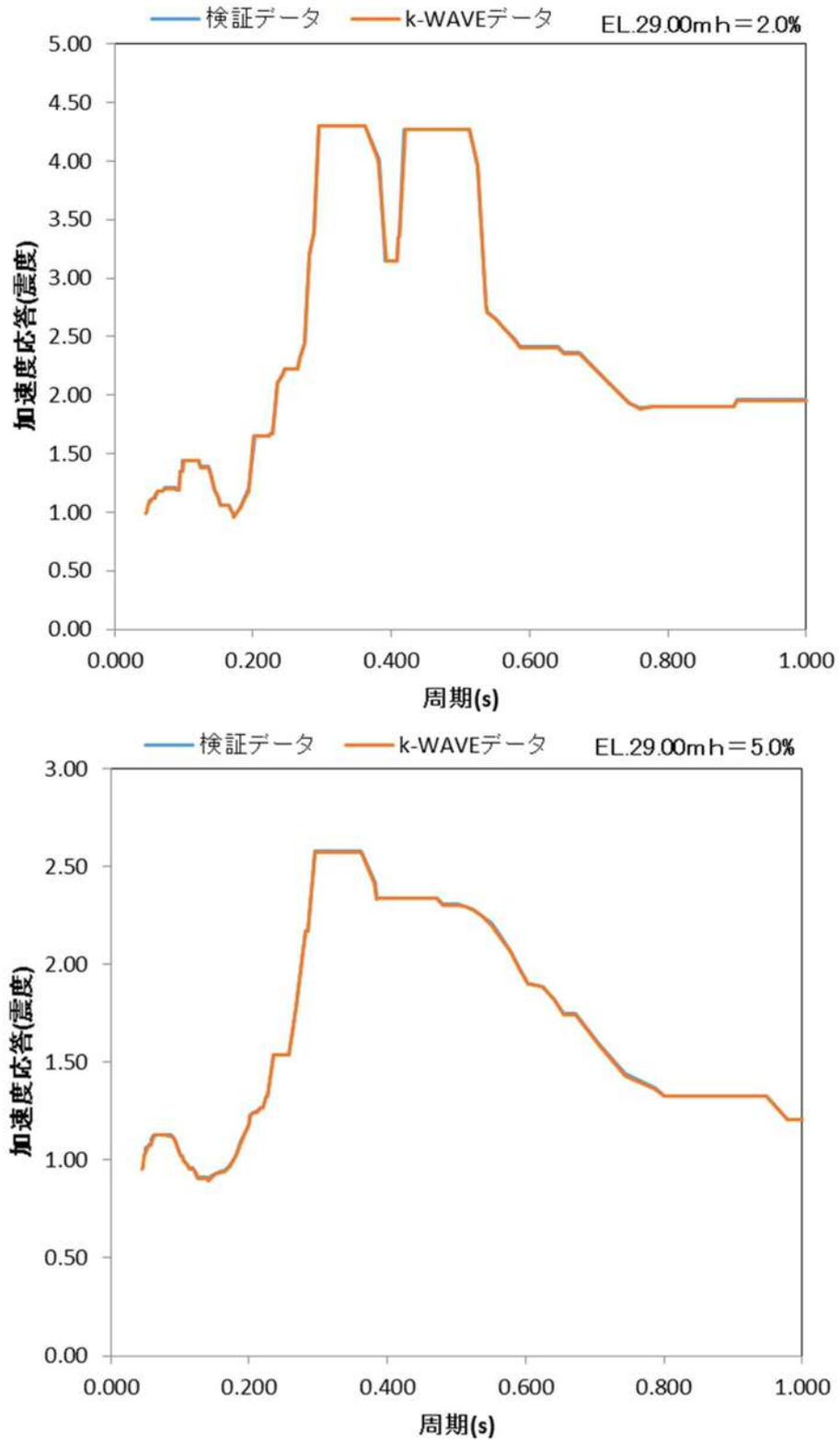


図 3(2) 検証用データと k-WAVE データとを比較した結果(EL. 29.00m)

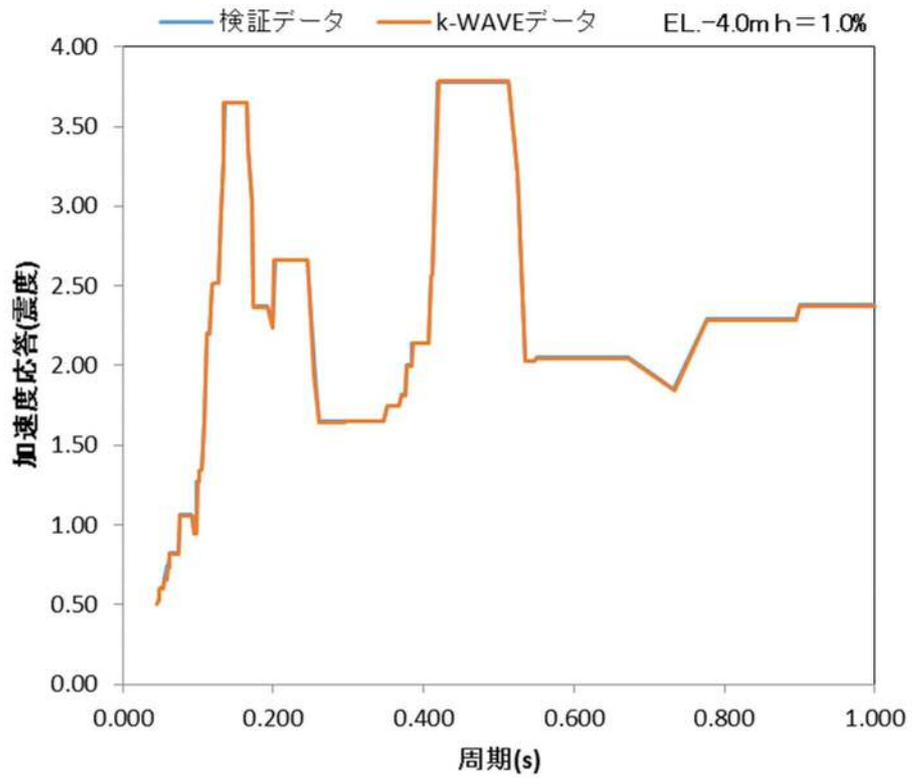
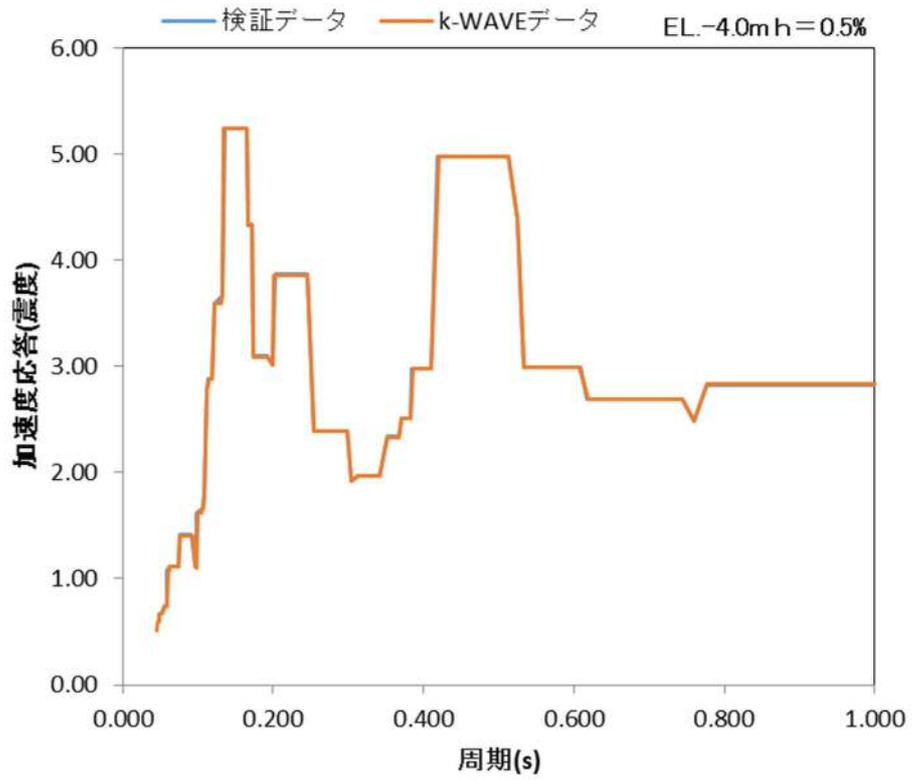


図 4(1) 検証用データと k-WAVE データとを比較した結果(EL. -4.00m)

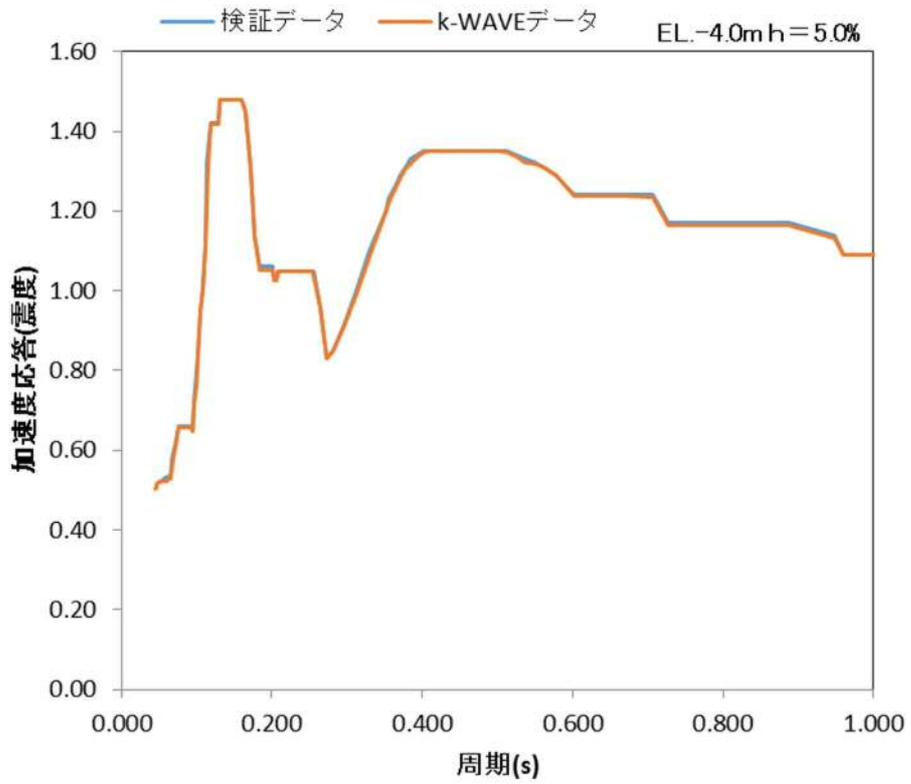
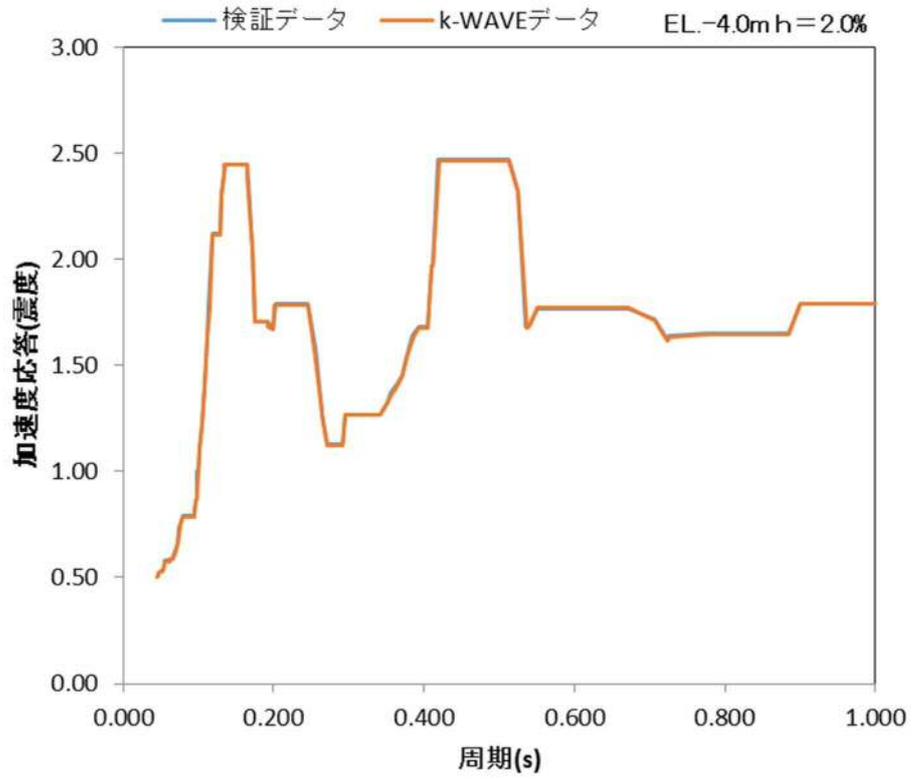


図 4(2) 検証用データと k-WAVE データとを比較した結果(EL. -4.00m)

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- ・ 今回の工事計画で使用する機能は床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毎に算定し、別解析コードS A S 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。
- ・ 設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、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。
- ・ 10%拡幅、時刻歴波の時間刻み、固有周期計算間隔はJ E A G 4 6 0 1 -1987に従っており、妥当性に問題はない。

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固有値解析及び応力解析に用いることは妥当である。