

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-工-B-22-0001_改0
提出年月日	2020年10月19日

VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要
(VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書において使用している計算機プログラム（解析コード）)

2020年10月
東北電力株式会社

目 次

1. はじめに	1
別紙 1 ADMITHF	2
別紙 2 SHAKE	4
別紙 3 mflow	7
別紙 4 NUPP4	24

1. はじめに

本資料は、添付書類VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」において使用した計算機プログラム（解析コード）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。

別紙 1 ADMITHF

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1.2.1 Ver. 1.3.1

2. 解析コードの概要

コード名 項目	ADMITHF
使用目的	質点系地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばね算定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1982年
使用したバージョン	Ver. 1.2.1, Ver. 1.3.1
コードの概要	ADMITHF（以下「本解析コード」という。）は、振動アドミッタンス理論により、矩形基礎の水平動、鉛直動及び回転動に対する地盤の複素ばね剛性を半無限地盤に対する点加振解から、振動数領域で計算する計算機プログラムであり、地震応答解析モデル及び応力解析モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定に用いている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で多数の工事計画認可申請に使用されており、十分な使用実績があるため信頼性がある。 ・本解析コードによる解析結果と日本建築学会「入門・建物と地盤との動的相互作用」の中で公開されているダイナミカル・グラウンド・コンプライアンス (DGC) 解と比較し、その妥当性を確認している。 ・今回の工事計画認可申請における用途及び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。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.3.1 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.2.1 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。

別紙 2 SHAKE

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.3 Ver. 1.6.4 Ver. 1.6.5 Ver. 1.6.9

2. 解析コードの概要

コード名	SHAKE
項目	
使用目的	入力地震動の策定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1971年
使用したバージョン	Ver. 1.6.3, 1.6.4, 1.6.5, 1.6.9
コードの概要	<p>SHAKE（以下「本解析コード」という。）は、米国カルフォルニア大学から発表されたSHAKEを基本に開発されたもので、1次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴波形を算出するプログラムである。</p> <p>地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮することができ、また鉛直動はS波速度V_sをP波速度V_pとして定義することで、各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等を求めることが可能である。</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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> • SHAKE Ver. 1.6による弾性地盤の増幅特性の解析結果と公開文献*の理論解を比較し、両者が一致することを確認している。 • 動作環境を満足する計算機にインストールして使用し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"> • 検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、本解析コードの解析結果と公開文献*の理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。 • 今回の工事計画認可申請における弾性地盤の応答評価の用途及び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。 • 本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.6.9 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 • 本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。

注記＊：最新耐震構造解析 柴田明德著 231, 232 頁 森北出版株式会社 第 3 版

別紙 3 mflow

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1.00

2. 解析コードの概要

項目	コード名 mflow
使用目的	1次元地盤モデルによる地震動の算定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2011年
使用したバージョン	Ver. 1.00
コードの概要	<p>mflow（以下「本解析コード」という。）は、1次元地盤の非線形地震応答解析用として開発された解析コードである。</p> <p>地盤の非線形モデルとして、双曲線モデル（履歴則はMasing則）やR0モデルの他に、石原・吉田モデルをサポートしており、時刻歴解析を必要とする高層評定や免震評定、風力発電施設の許認可業務における地盤の非線形地震応答解析に利用実績がある。</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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる解析結果と日本建築学会の文献*を比較し、両者がおおむね一致することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し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"> ・本解析コードは日本国内の高層評定や免震評定、風力発電施設に使用されており、十分な使用実績があるため信頼性があることを確認している。 ・同じ非線形モデルに基づいた解析結果と本解析コードの解析結果のベンチマークを行った結果、おおむね一致していること確認している。 ・今回の工事計画認可申請で行う地盤の応答解析の用途及び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。

注記*：日本建築学会 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計 69
頁，2006

3. 検証及び妥当性確認の詳細

3.1 概要

本解析コードは、鹿島建設株式会社で開発した 1 次元地盤を対象としたプログラムであり、時間領域における動的応答解析プログラムである。

また、本解析コードは、以下の建屋の地震応答解析に使用している。

- ・ 原子炉建屋

3.2 本解析コードの特徴

- (1) 1次元モデルによる多層地盤の地震応答を行う。
- (2) 解析結果として、地盤の各層における加速度、応力度、ひずみ度等の応答波形が求められる。
- (3) 本解析コードは、次の仮定を設けて地震応答解析を行っている。
 - ・ 地盤は、水平方向に半無限に広がっているものとする。(水平成層地盤)
 - ・ 応答は、地震動が解析基盤から鉛直伝播により起こるものとする。
 - ・ 地盤物性は、各層の単位体積重量、せん断波速度 (又はせん断弾性係数)、ポアソン比、地盤の非線形特性を入力することで定義する。

3.3 解析理論

3.3.1 運動方程式

多自由度系の運動方程式は一般に(1)式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \cdots \cdots \cdots (1)$$

ここで,

- [M] : 質量マトリックス
- [C] : 減衰マトリックス
- [K] : 剛性マトリックス
- { \ddot{u} } : 加速度ベクトル
- { \dot{u} } : 速度ベクトル
- { u } : 変位ベクトル
- { F } : 荷重ベクトル

3.3.2 減衰項の策定

減衰項として、各部別内部粘性型減衰、レーリー減衰などの減衰を用いることができる。

a. 各部別内部粘性型減衰

減衰項は、各部材の剛性マトリックス $[K_e]$ に比例するものと定義し、以下のように表される。

$$[C] = \sum \beta_e [K_e] \cdots \cdots \cdots (5)$$
$$\beta_e = 2h_e T_e / 2\pi$$

ここで,

- h_e : 部材の減衰定数
- T_e : 部材の減衰マトリックスを定義する周期

b. レーリー減衰

減衰項は、以下のように表される。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \cdots \cdots \cdots (6)$$

$$\alpha = \frac{2\omega_1\omega_2(h_1\omega_2 - h_2\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2}$$

$$\beta = \frac{2(h_2\omega_2 - h_1\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2}$$

ここで、

- ω_1 : 減衰定数 h_1 を定義する円振動数
- ω_2 : 減衰定数 h_2 を定義する円振動数

3.3.3 直接積分法による解法

直接積分法は、連立の微分方程式を直接積分するもので、時間を Δt 毎に分割し、時間ステップごとに、順次解を求めていく方法である、今回の解析で用いた Newmark - β 法 ($\beta = 1/4$) について以下に示す。

(1) 式の運動方程式を増分形式で表すと (7) 式となる

$$M\{\Delta\ddot{u}\} + C\{\Delta\dot{u}\} + K\{\Delta u\} = -M\{1\}\Delta\alpha \cdots \cdots \cdots (7)$$

n ステップの変位 $\{u_n\}$, 速度 $\{\dot{u}_n\}$, 加速度 $\{\ddot{u}_n\}$ が既知の場合、次の $n+1$ ステップの変位増分, 速度増分は以下の様に表せる。

$$\begin{aligned} \{\Delta u_{n+1}\} &= \{u_{n+1}\} - \{u_n\} = \Delta t \left(\frac{\{\dot{u}_{n+1}\} + \{\dot{u}_n\}}{2} \right) \\ &= \Delta t \left(\frac{(\{\dot{u}_n\} + \{\Delta\dot{u}_{n+1}\}) + \{\dot{u}_n\}}{2} \right) = \Delta t \left(\{\dot{u}_n\} + \frac{\{\Delta\dot{u}_{n+1}\}}{2} \right) \cdots \cdots \cdots (8) \end{aligned}$$

$$\{\Delta\dot{u}_{n+1}\} = \Delta t \left(\{\ddot{u}_n\} + \frac{\{\Delta\ddot{u}_{n+1}\}}{2} \right) \cdots \cdots \cdots (9)$$

(8) 式, (9) 式より

$$\{\Delta\dot{u}_{n+1}\} = \frac{2}{\Delta t} \{\Delta u_{n+1}\} - 2\{\dot{u}_n\} \cdots \cdots \cdots (10)$$

$$\{\Delta\ddot{u}_{n+1}\} = \frac{4}{\Delta t^2} \{\Delta u_{n+1}\} - \frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} - 2\{\ddot{u}_n\} \cdots \cdots \cdots (11)$$

(10) 式, (11) 式を (7) 式に代入し, $\{\Delta u_{n+1}\}$ に関して解く。

$$M \left(\frac{4}{\Delta t^2} \{\Delta u_{n+1}\} - \frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} - 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C \left(\frac{2}{\Delta t} \{\Delta u_{n+1}\} - 2\{\dot{u}_n\} \right) + K\{\Delta u_{n+1}\} = -M\{1\}\Delta\alpha$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \left(M \frac{4}{\Delta t^2} + C \frac{2}{\Delta t} + K \right) \{\Delta u_{n+1}\} &= -M\{1\}\Delta\alpha + M \left(\frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} + 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C(2\{\dot{u}_n\}) \\ \Rightarrow \{\Delta u_{n+1}\} &= \left(M \frac{4}{\Delta t^2} + C \frac{2}{\Delta t} + K \right)^{-1} \left(-M\{1\}\Delta\alpha + M \left(\frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} + 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C(2\{\dot{u}_n\}) \right) \\ &\dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

(12)式を解くと、 $n+1$ ステップの変位増分が得られる。また、(10)式、(11)式を用いて $n+1$ ステップの速度増分および加速度増分が得られる。

3.3.4 石原・吉田モデルによる非線形特性

原子炉建屋の地震応答解析における地盤の非線形特性（応力～歪み関係）は文献（引用文献（1）参照）に示される石原・吉田モデルを用いている。石原・吉田モデルは、大きな歪み領域でも履歴減衰が過大にならないよう、双曲線モデル（履歴則は Masing 則）を改良した数値モデルである。以下に、双曲線モデルと石原・吉田モデルの概要を示す。

a. 双曲線モデルの骨格曲線と履歴曲線

双曲線モデルの骨格曲線は(13)式で表される。

$$\tau = \frac{G_0 \gamma}{1 + G_0 \gamma / \tau_{max}} \quad (13)$$

ここで、 G_0 ：初期せん断剛性、 τ_{max} ：最大せん断強度

これを、基準ひずみ $\gamma_r (= \tau_{max}/G_0)$ を用いて書き直すと(14)式となる。

$$\frac{\tau}{\tau_{max}} = \frac{\frac{\gamma}{\gamma_r}}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_r}} \quad (14)$$

さらに、 $\frac{\tau}{\tau_{max}} = \eta$ 、 $\frac{\gamma}{\gamma_r} = \xi$ とおくと、骨格曲線は(15)式のように表される。

$$\eta = f(\xi) = \frac{\xi}{1 + |\xi|} \quad (15)$$

また骨格曲線の任意の点 (ξ_B, η_B) から除荷された時の履歴曲線は、Masing 則に従い、骨格曲線を2倍にした相似曲線として(16)式のように表される（第3-1図参照）。

$$(\eta - \eta_B)/2 = f[(\xi - \xi_B)/2] \quad (16)$$

b. 石原・吉田モデル

石原・吉田モデルは、双曲線モデルの減衰を任意に調整するため、(16)式で定義される履歴曲線を補正している。すなわち、(17)式に示す a, b の2つのスケーリングパラメータを導入して、仮想の骨格曲線を設定し、履歴曲線の形状を修正している（第3-2図参照）。

$$\begin{aligned}\xi' &= \xi/a \\ \eta' &= \eta/b\end{aligned}\tag{17}$$

これにより、骨格曲線の任意の点 (ξ_B, η_B) から除荷した時の履歴曲線は、(17)式を用いて(16)式を修正することで、以下のように表される。

$$\begin{aligned}\xi'_B &= \xi_B/a \\ \eta'_B &= \eta_B/b\end{aligned}\tag{18}$$

$$(\eta' - \eta'_B)/2 = f[(\xi' - \xi'_B)/2]\tag{19}$$

パラメータ a と b の評価法を以下に示す。

① パラメータ a の評価法

パラメータ a は、数値モデルの履歴減衰が、室内試験結果などをもとに設定した土の減衰定数と一致するように評価する。

(18)式と(19)式で定義した履歴曲線が描く履歴ループによる減衰定数は(20)式となる。

$$D\left(\left|\frac{\xi_B}{a}\right|\right) = \left(\frac{4}{\pi}\right)\left(1 + 1/\left|\frac{\xi_B}{a}\right|\right)\left[1 - \left(1/\left|\frac{\xi_B}{a}\right|\right)\right]\ln\left(1 + \left|\frac{\xi_B}{a}\right|\right) - \left(\frac{2}{\pi}\right)\tag{20}$$

次に、室内試験による土の減衰定数が下式で表せるものとする。

$$h = h_{max} \cdot (\gamma/\gamma_r)/(1 + \gamma/\gamma_r) = h_{max} \cdot \xi/(1 + \xi)\tag{21}$$

ここで、 h_{max} : 最大減衰定数

(21)式より、折返し点 (ξ_B, η_B) での履歴減衰は、(22)式のように表される。

$$h(|\xi_B|) = h_{max} \cdot |\xi_B|/(1 + |\xi_B|)\tag{22}$$

パラメータ a は、(21)式と(22)式が一致するよう下式を解くことにより求められる。

$$h(|\xi_B|) - D(|\xi_B/a|) = 0\tag{23}$$

② パラメータ b の評価法

(19)式で定義される履歴曲線は、折返し点 (ξ_B, η_B) から始まる反転した骨格曲線とも考えられるため、次式のように表すことができる。

$$-\eta'_B = f(-\xi'_B) = \frac{-\xi'_B}{1+|\xi'_B|} \quad (24)$$

ここで、(24)式の履歴曲線は、Masing 則に従い、折返し点 (ξ_B, η_B) から始まり、かつ、折返し点の対称点 $(-\xi_B, -\eta_B)$ に到達させるため、下式を満たす必要がある。

$$\eta_B = f(\xi_B) = \frac{\xi_B}{1+|\xi_B|} \quad \text{or} \quad -\eta_B = f(-\xi_B) = \frac{-\xi_B}{1+|\xi_B|} \quad (25)$$

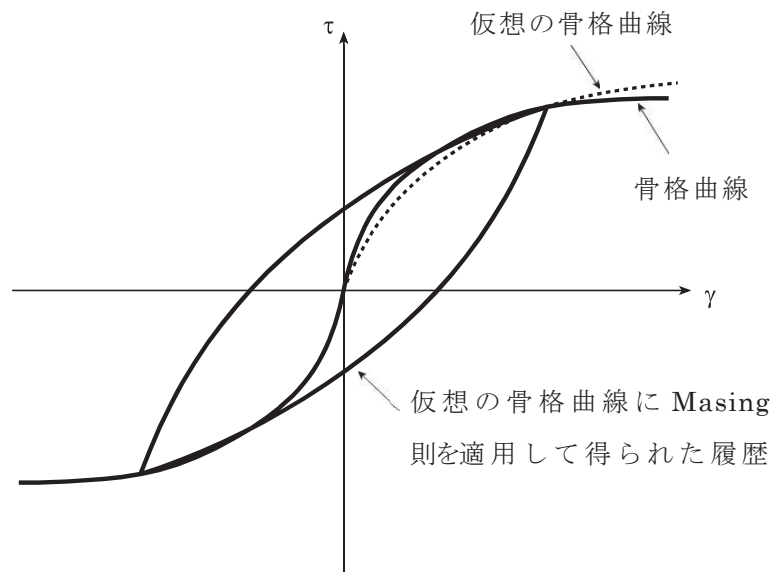
パラメータ b は、(25)式を境界条件として(24)式を解くことにより求められる。すなわち、(24)式に(18)式を代入すると、パラメータ b は(26)式のように表される。

$$-\frac{\eta_B}{b} = \frac{-\xi_B/a}{1+|\xi_B/a|}$$

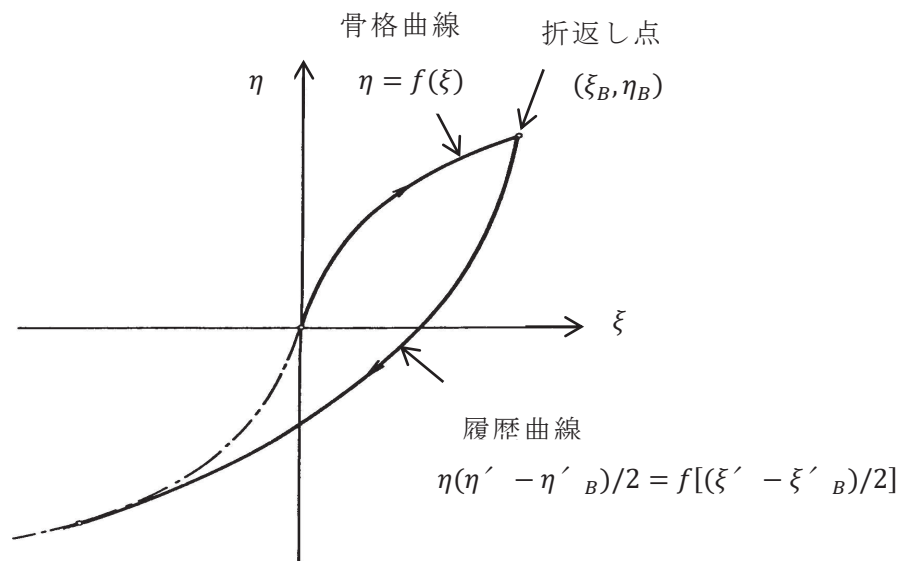
$$b = \eta_B \cdot \frac{1+|\xi_B/a|}{\xi_B/a} = \eta_B \cdot \frac{a+|\xi_B|}{\xi_B} \quad (26)$$

(26)式に(25)式を代入すると、パラメータ a と折返し点での正規化ひずみ点 ξ_B から、パラメータ b は(27)式のように求められる。

$$b = (a + |\xi_B|)/(1 + |\xi_B|) \quad (27)$$



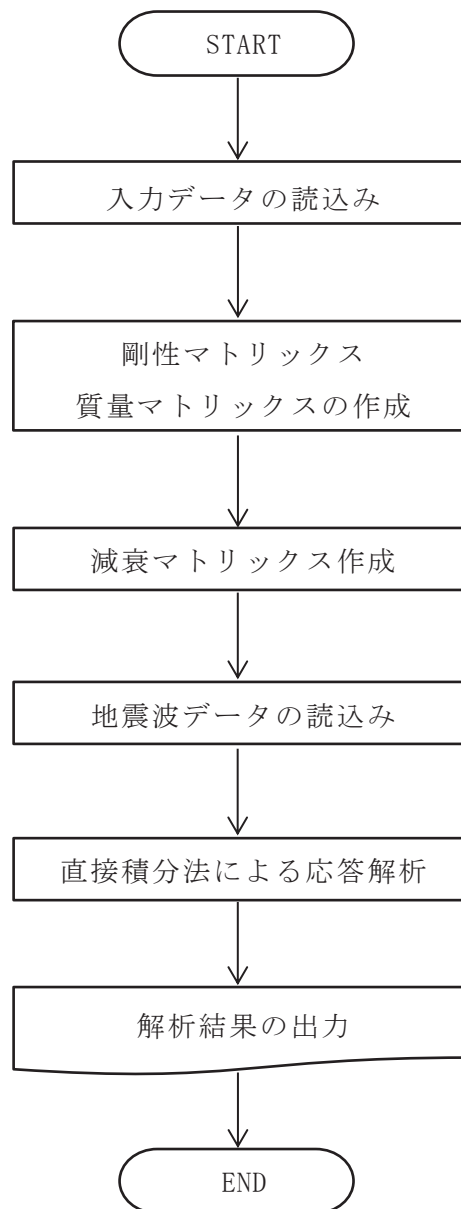
第 3-1 図 石原・吉田らによる履歴モデルの



第 3-2 図 骨格曲線と履歴曲線

3.4 解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを第 4-1 図に示す。



第 4-1 図 解析フローチャート

3.5 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)

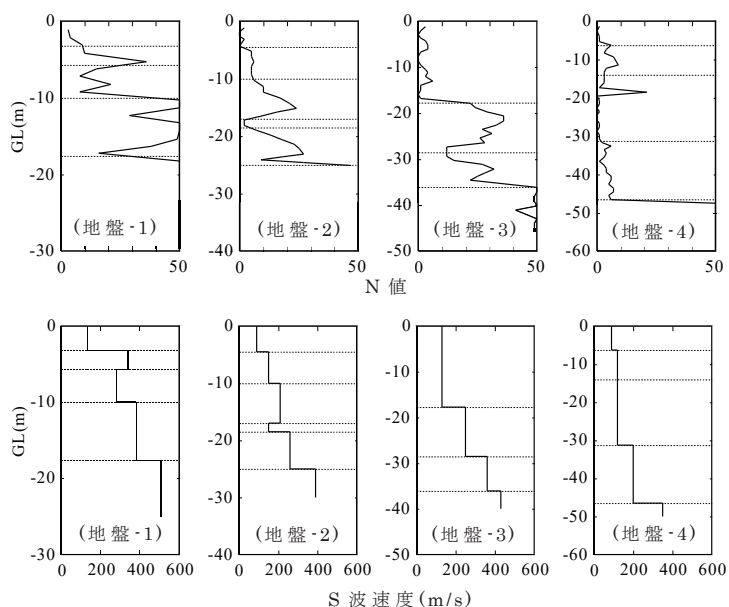
本解析コードは、「3.3 解析理論」に示した一般性のある理論モデルに基づき構築された解析コードであり、「3.4 解析フローチャート」に示したプログラム構造を持っている。本解析コードは、主に国土交通大臣の評定物件である一般超高層建築物、免震建築物、経済産業省の専門家会議での審査対象である風力発電設備支持物に多数の使用実績を有しており、解析機能全般について、十分妥当性が確認されている。

こうした特徴を踏まえ、逐次非線形による地震応答解析に対して本解析コードによる解析を実施し、本解析コードの解析機能の適切さを確認した。

検証は、多層のモデル地盤を対象として、本解析コードの解析解と日本建築学会の文献（引用文献（2）参照）により得られる解析解の比較を行う。

3.5.1 地盤モデル及び検討条件

検証を行う解析モデルと解析諸元、及び地盤の非線形特性を第 5-1 図、第 5-1 表、第 5-2 図に示す。



第 5-1 図 検証対象とする地盤モデル (N 値と S 波速度の分布)

第5-1表 検証対象とする地盤モデル（地盤諸元）

(a) 地盤-1

	深度 D (m)	層厚 H (m)	密度 ρ (t/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	土質
1	3.2	3.2	1.7	130	320	砂質土
2	5.7	2.5	1.8	340	720	砂質土
3	10.0	4.3	1.7	280	720	粘性土
4	17.6	7.6	1.9	380	1980	砂質土
工学的基盤			2.1	510	1980	

(b) 地盤-2

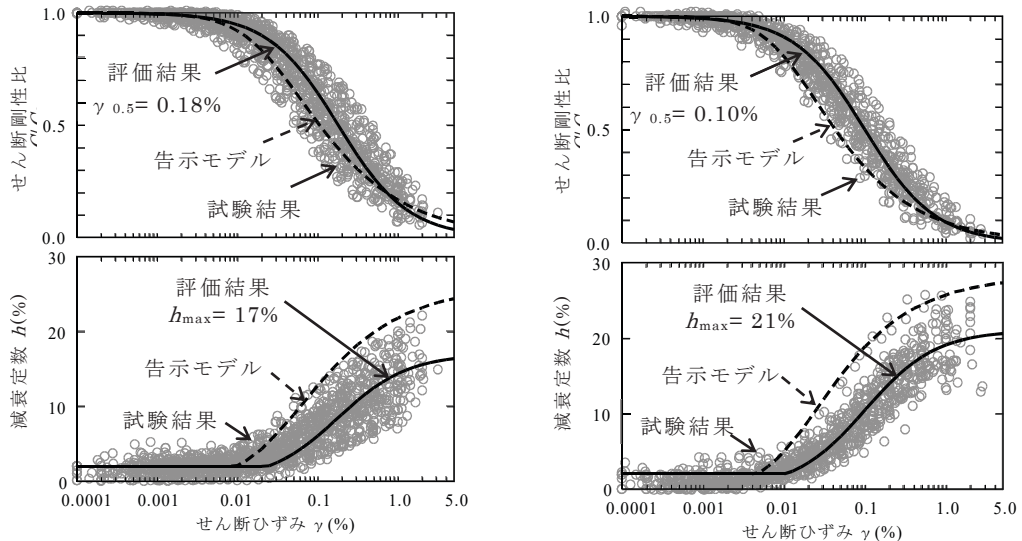
	深度 D (m)	層厚 H (m)	密度 ρ (t/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	土質
1	4.5	4.5	1.8	90	1360	粘性土
2	10.0	5.5	1.6	150	1560	砂質土
3	17.0	7.0	1.8	210	1560	砂質土
4	18.5	1.5	1.7	150	1560	粘性土
5	25.0	6.5	1.8	260	1560	砂質土
工学的基盤			1.8	390	1700	

(c) 地盤-3

	深度 D (m)	層厚 H (m)	密度 ρ (t/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	土質
1	17.7	17.7	1.8	130	1410	粘性土
2	28.5	10.8	1.9	250	1550	砂質土
3	36.1	7.6	1.9	360	1650	砂質土
工学的基盤			1.9	430	1650	

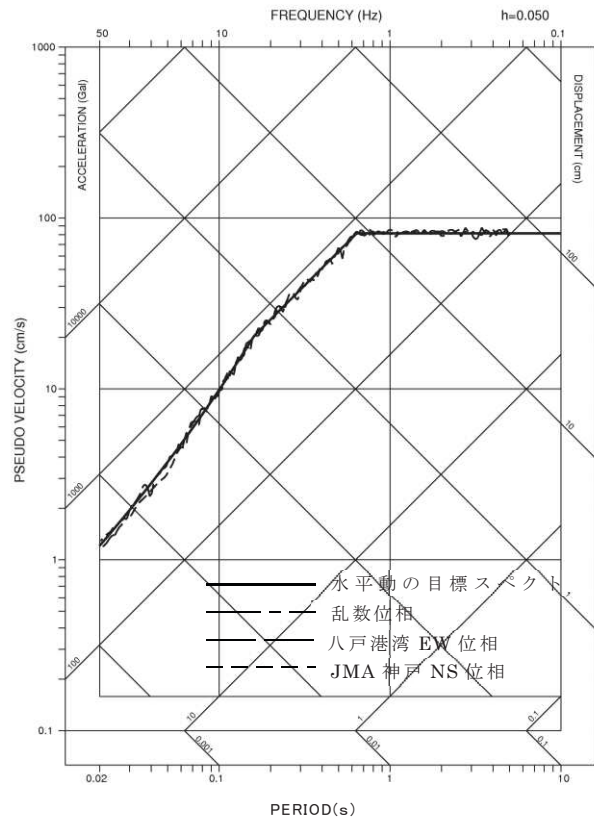
(d) 地盤-4

	深度 D (m)	層厚 H (m)	密度 ρ (t/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	土質
1	6.3	6.3	1.6	90	1420	粘性土
2	14.0	7.7	1.8	120	1470	砂質土
3	31.3	17.3	1.8	120	1380	粘性土
4	46.5	15.2	1.7	200	1510	粘性土
工学的基盤			1.9	350	1630	

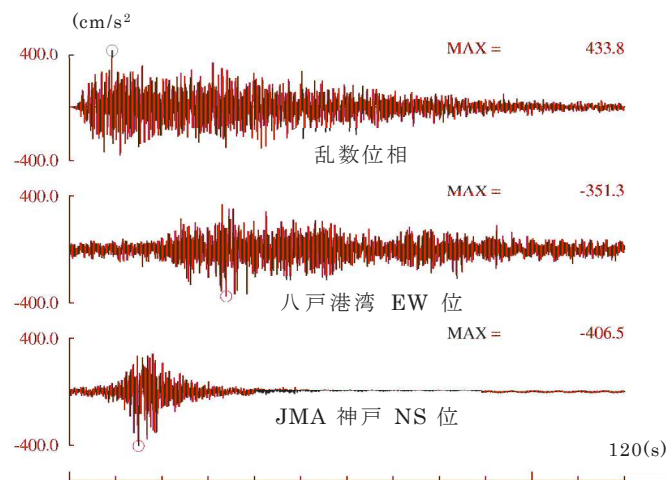


(a) 粘性土 : Clay (粘土およびシルト) (b) 砂質土 : Sand (砂および礫)

第5-2図 検証対象に用いた地盤の非線形特性



(a) 擬似速度応答スペクトル (減衰 5%)



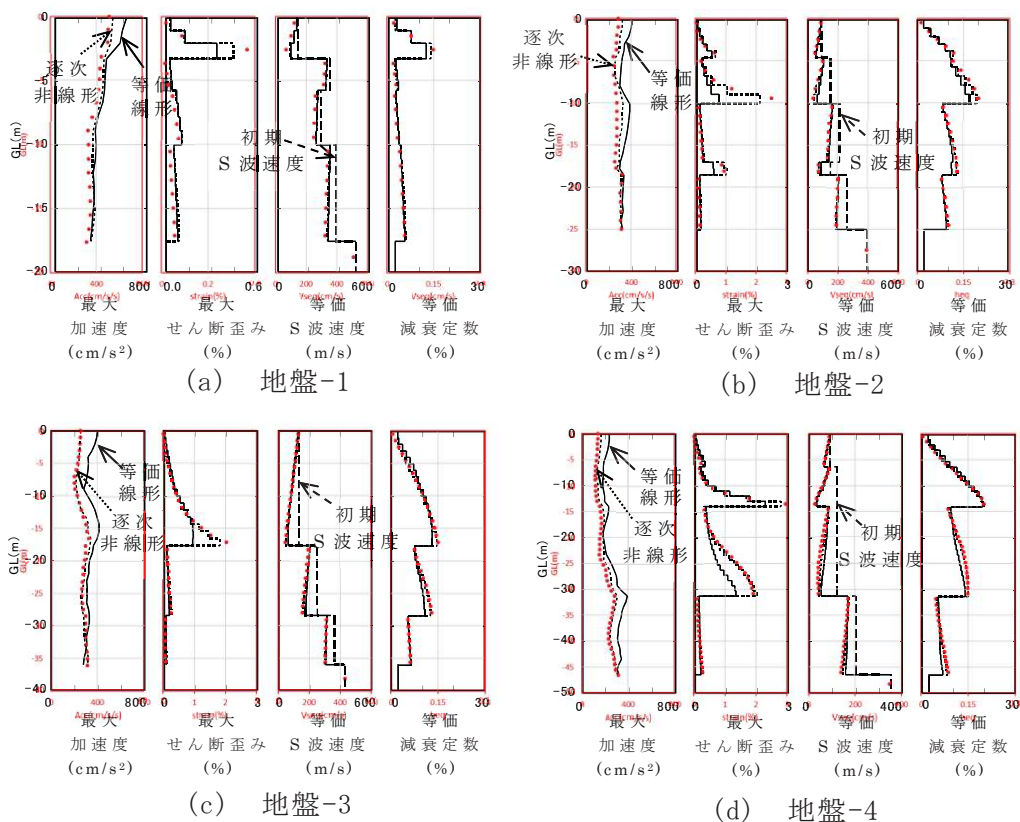
(b) 加速度波形

第 5-3 図 検証に用いた入力地震動

3.5.2 比較結果

日本建築学会の文献による解析解と本解析コードの解析解の比較として、地盤の応答最大値分布を第 5-4 図に、地表面加速度波形を第 5-5 図、地盤のせん断応力～せん断歪み関係を第 5-6 図示す。

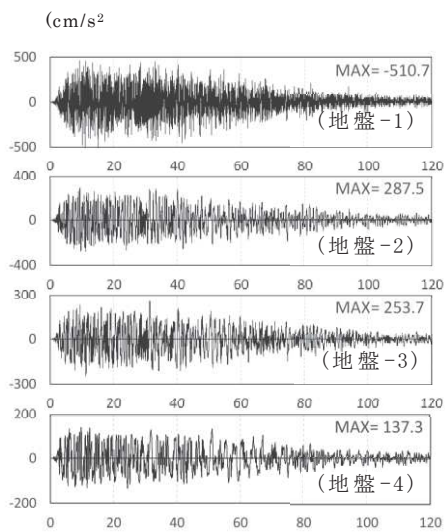
第 5-4 図～第 5-6 図より日本建築学会の文献による解析解と本解析コードによる解析解は十分な精度で一致しており、本解析コードが地盤応答を正しく評価していることが確認できる。



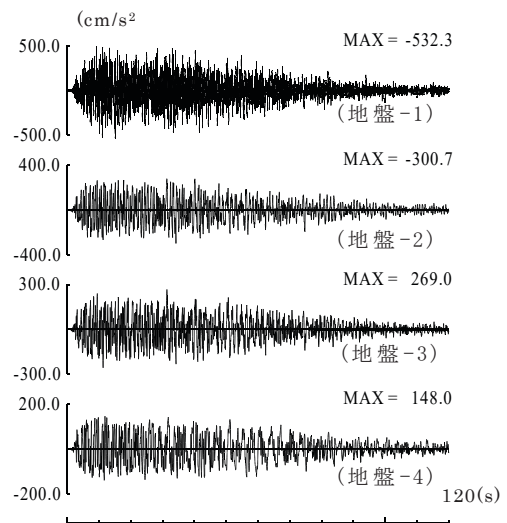
第 5-4 図 応答最大値分布の比較*

(黒破線：日本建築学会の文献による解析解，赤点線：本解析コードによる解析解)

注記*：日本建築学会の文献の(b)地盤-2 と(c)地盤-3 は結果が入れ替わっているため修正した。また，(a)地盤-1 のひずみ分布図の横軸の値の間違いも修正した。

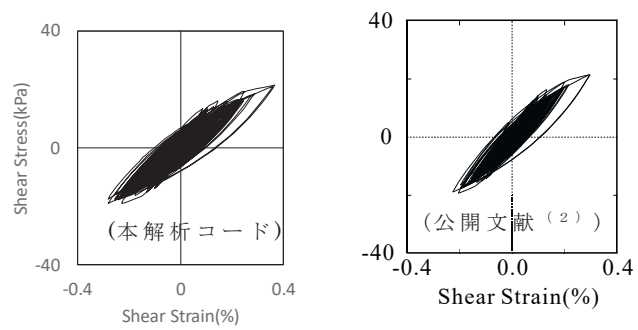


(a) 本解析コード

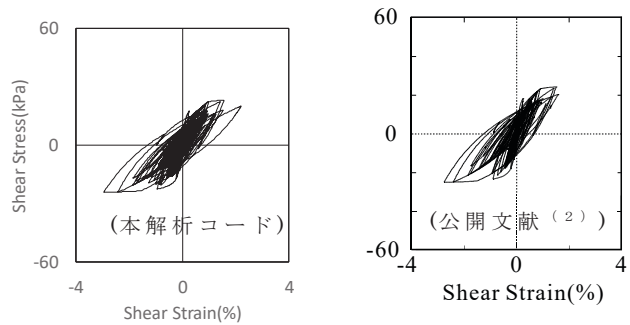


(b) 公開文献⁽²⁾

第 5-5 図 地表加速度波形の比較 (告示波・乱数位相入力時)



(a) 地盤-1, GL-3m



(b) 地盤-4, GL-14m

第5-6図 地盤のせん断応力～せん断歪み関係の比較

3.5.3 まとめ

以上のとおり、本計算機コードによる地盤応答計算の機能について

- ・ 超高層建物，免震建物，風力発電設備支持物において使用実績を有しており，国土交通大臣の建物評定，経済産業省の専門家会議により解析機能全般について，妥当性は十分確認されている。
- ・ 日本建築学会の文献に示されている多層地盤モデルの非線形地盤応答解析を本解析コードにて実施し，解析結果を公開文献記載の結果と比較して，おおむね一致することを確認している。

従って，本解析コードの当該機能は適切である。

また，上記に加えて，今回の工事認可申請で行う解析の用途及び適用範囲が，上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

したがって，本解析コードを，原子炉建屋の地震応答解析における入力地震動の策定において，地盤の応答評価に使用することは，妥当である。

4. 引用文献

- (1) Ishihara, K., Yoshida, N. and Tsujino, S. (1985): Modelling of stress-strain relations of soils in cyclic loading, Proc. 5th International Conference for Numerical Method in Geomechanics, Nagoya, Vol. 1, pp. 373-380, 1985
- (2) 日本建築学会 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，69 頁，2006

別紙 4 NUPP4

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1.4.6 Ver. 1.4.7 Ver. 1.4.9 Ver. 1.4.10

2. 解析コードの概要

コード名 項目	NUPP4
使用目的	固有値解析，スペクトルモーダル解析，地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1967年
使用したバージョン	Ver. 1.4.6, Ver. 1.4.7, Ver. 1.4.9, Ver. 1.4.10
コードの概要	<p>NUPP4（以下「本解析コード」という。）は，原子力発電所建屋の地震応答解析用として開発された質点系モデルによる解析計算機コードである。</p> <p>静荷重（節点荷重），スペクトルモーダル解析及び動荷重（節点加振力，地震入力）を，扱うことができる。</p> <p>地震応答解析は，線形解析及び非線形解析を時間領域における数値積分により行うほか，線形解析を周波数領域で行うことが可能である。</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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・解析コードの前バージョンである NUPP 及び NUPP II（以下「前バージョン」という。）は，日本国内の原子力施設における建築物の地震応答解析において数多くの工事計画認可申請に使用されており，十分な使用実績がある。本解析コードは使用計算機（OS）の変更に伴うカスタマイズを施したものであり解析に係る部分は前バージョンから変更していないため，前バージョン同様，信頼性があると判断できる。 ・固有値解析，弾性地震応答解析については，一般産業界において多数の解析で使用実績のある DYN2E*¹ を用いて，同一諸元による解析を行い，本解析コードによる解析結果とおおむね一致することを確認している。 ・弾塑性地震応答解析については，既工事計画認可申請時に確認されている（財）原子力発電技術機構の報告書*² による解析結果とおおむね一致することを確認している。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認

	<p>の範囲内であることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> •本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1. 4. 10 は，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 •本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1. 4. 6, Ver. 1. 4. 7 及び Ver. 1. 4. 9 は，他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。
--	--

注記*1：DYNA2E 販売元 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

注記*2：質点系モデル解析コード SANLUM の保守に関する報告書 平成 10 年 3 月
(財)原子力発電技術機構 原子力安全解析所