

IV－6

計算機プログラム（解析コード）の 概要

目 次

	ページ
1. はじめに	1
IV-6-1 建物・構築物	
IV-6-2 機器・配管系	

1. はじめに

本資料は、「IV 耐震性に関する説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。

「IV 耐震性に関する説明書」において使用した解析コードの使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

IV - 6 - 1
建物・構築物

別紙1 admitHF

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

耐技 B

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-2-1-1 -1-2-1	第1非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-2-1-1 -1-3-1	安全冷却水系冷却塔 A 基礎の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-2-1-1 -1-4-1	安全冷却水系冷却塔 B 基礎の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-2-2-2 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.3.1
IV-2-2-2 -1-1-2	使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）の耐震性についての計算書	Ver. 1.3.1
IV-2-2-2 -1-1-3	使用済燃料輸送容器管理建屋（トレーラエリア）の耐震性についての計算書	Ver. 1.3.1
IV-5-2-1 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-5-2-3 -1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.3.1
IV-5-2-3 -1-2	使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）の耐震性についての計算書	Ver. 1.3.1

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-3-1	精製建屋の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-2-1-1 -1-15-1	第1軽油貯蔵所の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-2-1-1 -1-16-1	第2軽油貯蔵所の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-2-1-1 -1-17-1	第1保管庫・貯水所の地震応答計算書	Ver. 1.3.1

IV-2-1-1 -1-18-1	第2保管庫・貯水所の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-2-1-1 -1-21-1	緊急時対策建屋の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-2-1-1 -1-22-1	重油貯蔵所の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-5-2-1 -1-3-1	精製建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-5-2-1 -1-11-1	第1軽油貯蔵所の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-5-2-1 -1-12-1	第2軽油貯蔵所の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-5-2-1 -1-13-1	第1保管庫・貯水所の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-5-2-1 -1-14-1	第2保管庫・貯水所の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.3.1
IV-5-2-3 -1-5	ガラス固化体受入れ建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.3.1

2. 解析コードの概要

コード名 項目	admitHF
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. 1.3.1
使用目的	質点系モデルにおける基礎底面地盤ばね算定
コードの概要	<p>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プログラムである。</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・グランド・コンプライアンス (DGC) 解と比較し、よく整合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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・四国電力株式会社伊方発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているもの (Ver. 1.2.1) と異なるが、バージョンの違いにおいて解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、本解析コードと理論解との比較を実施し、本解析コードが理論解と同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における基礎底面地盤ばね算定に使用することは妥当である。

別紙2 ST-CROSS

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-6-1	制御建屋の地震応答計算書	Ver. 1.0
IV-2-2-2 -1-1-1	分析建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-2-2-2 -1-1-16	低レベル廃棄物処理建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-1 -1-6-1	制御建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-3 -1-1	分析建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

コード名 項目	ST-CROSS
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1977年（使用開始時期）
使用したバージョン	Ver. 1.0
使用目的	質点系モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定
コードの概要	ST-CROSS（以下、「本解析コード」という。）は、半無限均質地盤の地表面点加振解（グリーン関数）を用いて、指定した矩形基礎形状に応じたインピーダンスマトリックスを求めることができる計算機コードである。
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"> ・基礎の底面地盤ばねについて、本解析コードで算定を行った解析解と、既往論文*1に記載されている結果（理論解）を比較し、解析解と理論解が概ね一致することを確認した。 ・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"> ・関西電力株式会社高浜3号機の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、底面地盤ばね算定に対して本解析コードと既往文献の評価結果との比較を実施し、本解析コードが既往文献の評価結果と同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における基礎底面地盤ばね算定に使用することは妥当である。

注記 *1: 吉田ほか 平均変位評価による相互ばねについて、日本建築学会梗概集, 1986年

別紙3 VA

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-2-2 -1-1-6- 1	北換気筒の地震応答計算書	2001.11版

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-4-1	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書	2001.11版
IV-2-1-1 -1-5-1	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書	2001.11版
IV-2-1-1 -1-8-1	主排気筒の地震応答計算書	2001.11版
IV-2-1-1 -1-9-1	第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟の地震応答計算書	2001.11版
IV-2-1-1 -1-11-1	ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書	2001.11版
IV-2-2-2 -1-1-2	出入管理建屋の耐震性に関する計算書	2001.11版
IV-5-2-1 -1-4-1	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	2001.11版
IV-5-2-1 -1-5-1	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	2001.11版
IV-5-2-1 -1-8-1	主排気筒の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	2001.11版
IV-5-2-1 -1-9-1	第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	2001.11版
IV-5-2-3 -1-2	出入管理建屋の耐震性に関する計算書	2001.11版
IV-5-2-3 -1-11-1	北換気筒の地震応答計算書	2001.11版

2. 解析コードの概要

コード名 項目	VA
開発機関	大林組（一般理論のコード化）
開発時期	1984年（初版）
使用したバージョン	2001.11版
使用目的	質点系モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定
コードの概要	<p>VA（以下、「本解析コード」という。）は、質点系モデルにおける基礎底面地盤ばねを振動アドミタンス理論により求める計算機コードである。</p> <p>本解析コードは点加振理論解を用いているため、高振動数領域に対しても適用可能である。また、要素分割法を用いることにより、任意の変形分布に対して地盤の動的効果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"> ・本解析コードによる解析解と参考文献による解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認した。 ・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"> ・九州電力株式会社玄海発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、基礎底面地盤ばねの算定について参考文献による解析解との比較を行い、双方の解が概ね一致することを確認していることから、本解析コードを本申請における基礎底面地盤ばね算定に使用することは妥当である。

別紙4 VA

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-1	前処理建屋の地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-2-1-1 -1-13-1	非常用電源建屋の地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-2-1-1 -1-14-1	燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-2-1-1 -1-19-1	安全冷却水 A 冷却塔基礎の地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-2-1-1 -1-20-1	冷却塔 A, B 基礎の地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-2-2-2 -1-1-3	ウラン脱硝建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2.0
IV-2-2-2 -1-1-4	ウラン酸化物貯蔵建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2.0
IV-5-2-1 -1-1-1	前処理建屋の基準地震動 S s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-5-2-3 -1-3	ウラン脱硝建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2.0
IV-5-2-3 -1-4	ウラン酸化物貯蔵建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	VA
開発機関	大成建設株式会社
開発時期	1990年
使用したバージョン	Ver. 2.0
使用目的	地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばね算定
コードの概要	<p>VA（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、上下動及び回転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プログラムである。</p> <p>日本国内の原子力施設の工事計画認可申請において多くの利用実績がある。</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"> ・ 既往文献*1*2に記載されている理論モデルによる基礎底面の水平ばね、回転ばね及び鉛直ばねの評価例について本解析コードを用いて評価し、本解析コードによる結果と既往文献の結果が一致す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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 九州電力株式会社川内1号機の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・ 本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・ 上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、基礎底面地盤ばね算定に対して本解析コードと既往文献の評価結果との比較を実施し、本解析コードが既往文献の評価結果と同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における基礎底面地盤ばね算定に使用することは妥当である。

注記 *1：建築構造力学の最近の発展－応力解析の考え方－，日本建築学会，2008年
 *2：基礎-地盤複素剛性解析コード SANBANE の保守に関する報告書，原子力発電技術機構，1998年

別紙5 GRIMP2

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-2-1	分離建屋の地震応答計算書	Ver. 2.5
IV-2-1-1 -1-7-1	高レベル廃液ガラス固化建屋の地震応答計算書	Ver. 2.5
IV-2-1-1 -1-10-1	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書	Ver. 2.5
IV-5-2-1 -1-2-1	分離建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2.5
IV-5-2-1 -1-7-1	高レベル廃液ガラス固化建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2.5

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	GRIMP2
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1988年
使用したバージョン	Ver. 2.5
使用目的	質点系モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定
コードの概要	GRIMP2 (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, 基礎の水平, 上下及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
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"> • 本解析コードを用いて評価した基礎底面地盤の水平ばね, 鉛直ばね及び回転ばねが Wong&Luco の論文*の結果とよく整合す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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 日本原子力発電株式会社東海第二発電所の工事計画認可申請において, 本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 • 本申請において使用するバージョンは, 上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 • 上述の検証の内容のとおり, 基礎底面地盤ばねについて実績のあるプログラムによる解析解を比較し, 双方の解が概ね一致することを確認していることから, 本解析コードを本申請における基礎底面地盤ばねの算定に使用することは妥当である。

注記 * : Wong H.L. and Luco J.E. : Tables of Impedance Functions and Input Motions for Rectangular Foundations, USC Report CE78-15, 1978

別紙6 FDAPⅢ

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-1	前処理建屋の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-13-1	非常用電源建屋の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-5-2-1 -1-1-1	前処理建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 3.07

2. 解析コードの概要

コード名 項目	FDAPⅢ
開発機関	大成建設(株), (株)アーク情報システム
開発時期	1986年
使用したバージョン	Ver. 3.07
使用目的	質点系モデルにおける側面地盤ばね算定
コードの概要	<p>FDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、大成建設(株)と(株)アーク情報システムが共同開発した有限要素法による構造解析の汎用ソフトウェアである。</p> <p>本解析コードは、振動数領域における複素応答解析を行うプログラムであり、土木及び建築分野に特化した要素群及び材料非線形モデルを数多くサポートしていることが特徴で、過渡応答解析及び定常応答解析を行うことができる。また、動荷重（節点加振力，強制変位・速度・加速度，地震動入力）を扱うことができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> ・本解析コードを用いて、周辺を埋め込まれた基礎について側面の水平ばねの評価を行い、既往文献に添付される他解析コードによる解析結果と解が概ね一致す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ることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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"> ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、側面地盤ばね算定に対して本解析コードと既往文献に添付される他コードとの比較を実施し、同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを側面地盤ばね算定に使用することは妥当である。

3. 解析コードの解析手法について

3.1 解析理論

周波数応答解析における有限要素法による評価は、次の手順で行われる。

要素内の変位を仮定し、節点変位を使って要素内任意点の変位を表現する。

$$\{u\}=[N]\{u_e\} \cdots \cdots \cdots (a)$$

ここで、

$\{u\}$: 要素内任意点の変位

$[N]$: 形状関数マトリクス

$\{u_e\}$: 節点変位

上記の変位を微分して、要素内任意点のひずみを節点変位により表す。

$$\{\varepsilon\}=[B]\{u_e\} \cdots \cdots \cdots (b)$$

ここで、

$\{\varepsilon\}$: 要素内任意点のひずみ

$[B]$: ひずみマトリクス

材料物性から求められる応力とひずみの関係式である(c)式より定められる弾性係数マトリクスを用いて、要素剛性マトリクスを(d)式により計算する。

$$\{\sigma\}=[D]\{\varepsilon\} \cdots \cdots \cdots (c)$$

$$[K_e]=\int [B]^T [D] [B] dV \cdots \cdots \cdots (d)$$

ここで、

$\{\sigma\}$: 要素内任意点の応力

$[D]$: 材料応力-ひずみ接線マトリクス

$[K_e]$: 要素剛性マトリクス

全体の剛性マトリクスを要素剛性マトリクスの重ね合わせによって求め、運動方程式を組み立てると(e)式となる。

$$\{f\}=[M]\{\ddot{y}\}+[C]\{\dot{y}\}+[K]\{y\}\cdots\cdots\cdots (e)$$

ここで、

- $\{f\}$: 荷重ベクトル
- $\{y\}$: 構造全体の変位

$$\{y\}=\begin{Bmatrix} u_{e1} \\ u_{e2} \\ \vdots \\ u_{en} \end{Bmatrix}$$

- $u_{e1}, u_{e2}, \dots, u_{en}$: 各節点の節点変位
- $[M]$: 質量マトリクス
- $[K]$: 剛性マトリクス
- $[C]$: 減衰マトリクス

変位 $\{y\}=\{y(\omega)\}e^{i\omega t}$, 荷重ベクトル $\{f\}=\{f(\omega)\}e^{i\omega t}$ とし、運動方程式(e)式に代入して整理すると(f)式となる。

$$\{f(\omega)\}=(-\omega^2[M]+i\omega[C']+[K'])\{y(\omega)\}\cdots\cdots\cdots (f)$$

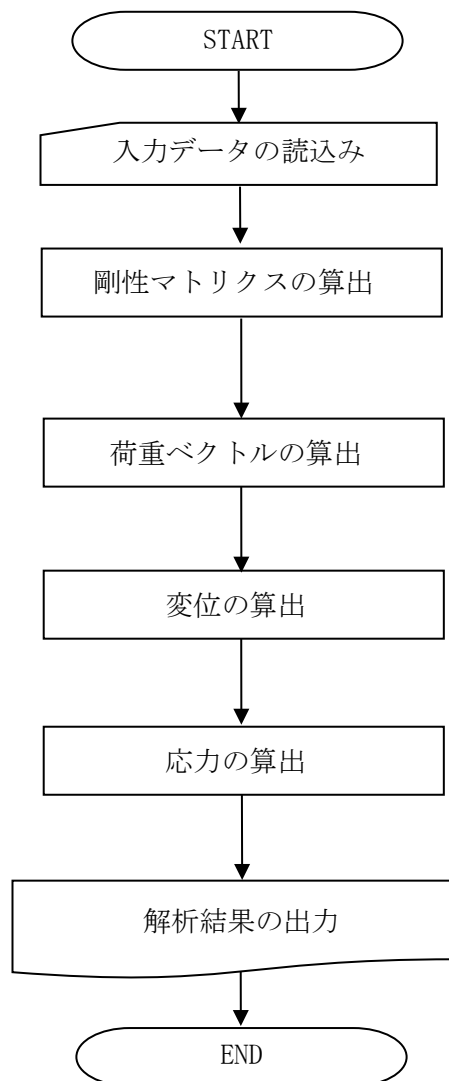
ここで、

- $[C]=[C']+iG[K]+i\Sigma G_E[K_e]$
- $[K']=(1+iG)[K]+i\Sigma G_E[K_e]$
- $[C']$: 減衰要素による減衰マトリクス
- G, G_E : 構造減衰係数
- $[K_e]$: 要素の剛性マトリクス

(f)式について円振動数 ω を変化させることで各 ω の応答が求められる。

3.2 解析フローチャート

本計算機プログラムを使用した有限要素法を用いた周波数応答解析による側面地盤ばね評価の解析フローチャートを第3.2-1図に示す。



第3.2-1図 解析フローチャート

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

3.3.1 検証 (Verification)

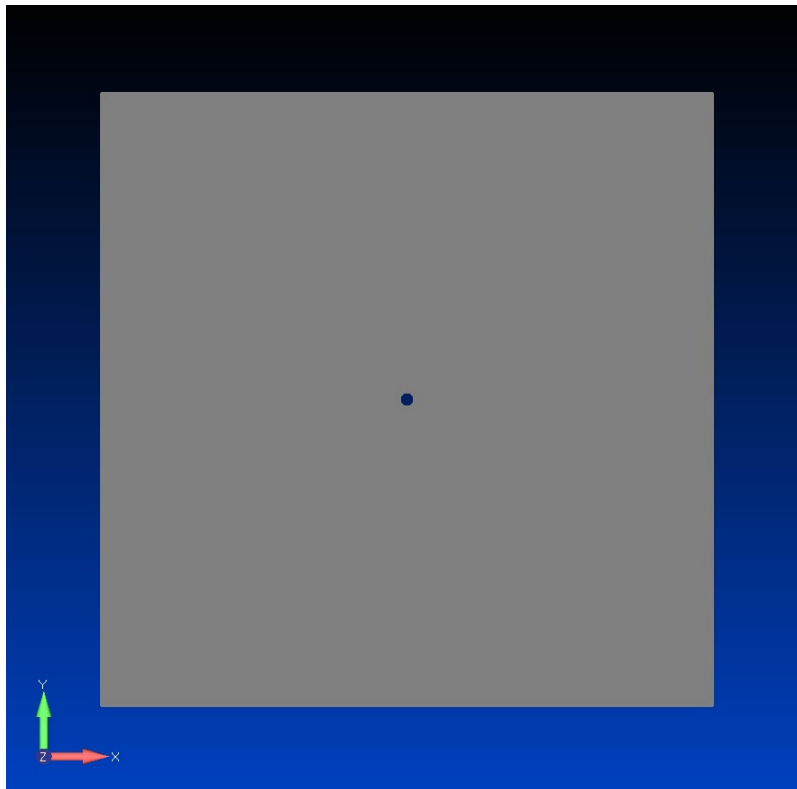
Novak の方法により側面ばねの理論解が得られる円形基礎に注目し、FDAPⅢを用いた単位加振力による周波数応答解析からの水平側面地盤ばね (インピーダンス) の解析結果と、Novak の方法に基づく他計算機プログラム (NOVAK (AIJ)) による解析結果を比較する。

解析モデルは、円形基礎の周囲の正方形の地盤を、ソリッド要素を用いてモデル化する。

解析条件及び解析モデルを第 3.3.1-1 表及び第 3.3.1-1 図に示す。

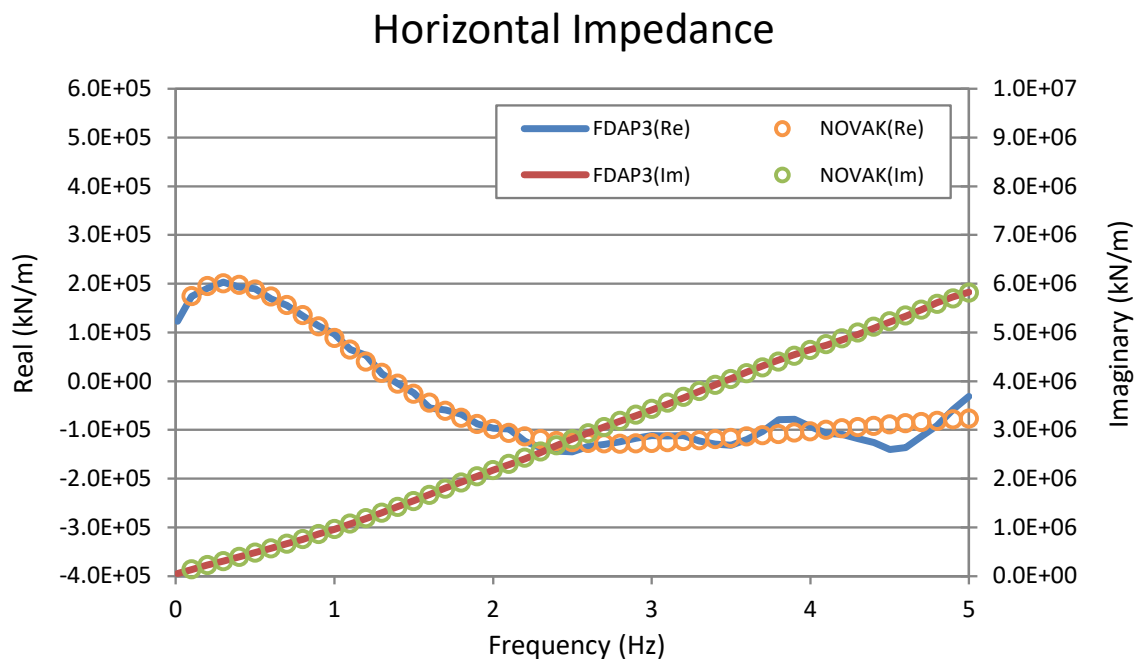
第 3.3.1-1 表 解析条件

基礎底面形状	完全円形 (直径:86.752m)	
地盤モデル化範囲	4,000m×4,000m	
地盤諸元	せん断弾性係数	$4.6 \times 10^4 \text{kN/m}^2$
	ポアソン比	0.460
	単位体積重量	17.7kN/m^3
境界条件	周辺粘性境界	



第 3.3.1-1 図 解析モデル図

本計算機プログラムと他計算機プログラムの解析結果の比較を第 3. 3. 1-2 図に示す。各振動数での値及び傾向は概ね一致しており、本計算機プログラムが水平側面地盤ばねを正しく評価していることが確認できる。



第 3. 3. 1-2 図 解析結果の比較

3. 3. 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。

- ・本申請における本解析コードの使用目的は地震応答解析モデルにおける側面地盤ばね算定であることに対し、「3. 5. 1 検証 (Verification)」に示したとおり、同種の解析について検証を行っていることから、本解析コードを本申請における解析に使用することは妥当である。

3. 3. 3 評価結果

3. 3. 1 及び 3. 3. 2 より、本解析コードを地震応答解析モデルにおける側面地盤ばね算定に使用することは妥当である。

別紙7 BOUNDA-2

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-6-1	制御建屋の地震応答計算書	Ver. 1.0
IV-2-2-2 -1-1-1	分析建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-1 -1-6-1	制御建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-3 -1-1	分析建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

コード名 項目	BOUND A-2
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1984年11月
使用したバージョン	Ver. 1.0
使用目的	質点系モデルにおける側面地盤ばね算定
コードの概要	BOUND A-2 (以下, 「本解析コード」という。) は, 株式会社竹中工務店が独自に開発したコードであり, 境界要素を指定して任意の基礎形状を対象とした側面地盤水平インピーダンスマトリックスを求めることができる。
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"> ・円形基礎の側面地盤ばねについて, 本解析コードによる解析解と, 原子力産業界において実績のある解析コードと解析解を比較し, 双方の解が概ね一致することを確認している。 ・本解析コードによる解析解と原子力産業界において実績のある解析コードを用いた解析解を比較したベンチマーキングを行った結果, 双方の解が概ね一致している事を確認した。 ・本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"> ・上述の検証の内容のとおり, 本申請における使用目的と整合した検証として, 側面地盤ばね算定に対して本解析コードと既往文献に添付される他コード及び原子力産業界において実績ある他コードとの比較を実施し, 本解析コードがそれらと同等の解を与えることを確認していることから, 本解析コードを本申請における側面地盤ばね算定に使用することは妥当である。

3. 解析コードの解析手法について

3.1 一般事項

本資料は、地盤－建物相互作用を考慮した地震応答解析に用いる建屋地下側面地盤の水平インピーダンス算定（側面地盤水平ばね算定）用解析コード「BOUND-A-2」の概要である。

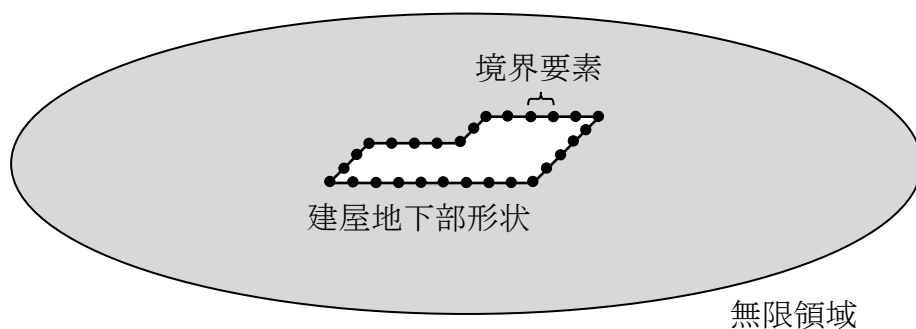
本解析コードは株式会社竹中工務店が独自に開発したコードであり、はり要素とばね要素から成る埋込み考慮多質点系モデルを用いた地震応答解析において、地下側面地盤の水平ばねの算定に用いる。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードは、2次元地盤を対象に境界要素法を用いて、対象とする建屋地下側面地盤の水平ばねを算定するものである。2次元面内振動問題の無限領域の基本解を用いることにより、建屋と地盤の境界部分のみをモデル化し、地盤の無限の広がりを考慮した水平ばねを算定することができる。

3.3 解析手法

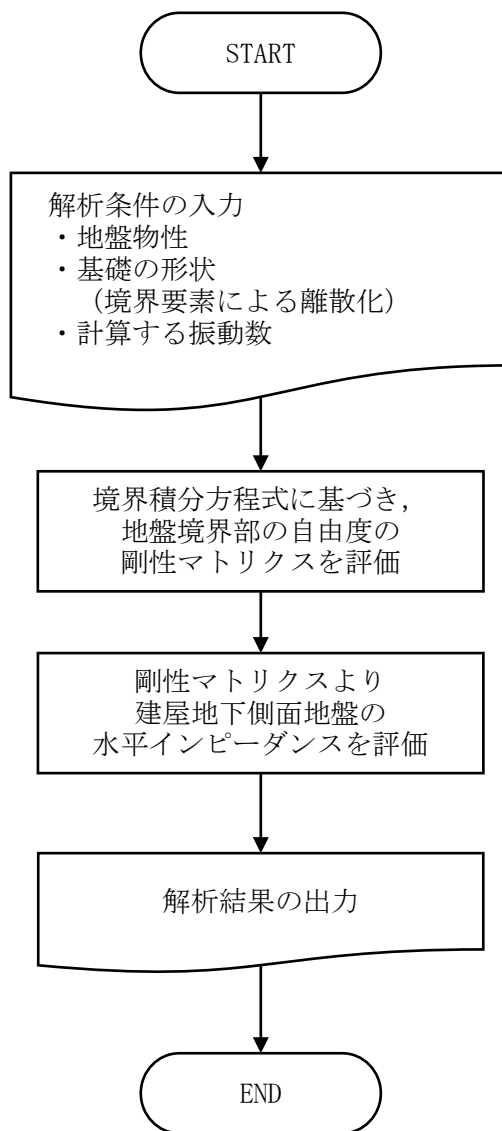
本手法は、2次元地盤面内振動問題の基本解を用いて導出される境界積分方程式を基に、地盤境界を境界要素で離散定式化することによって、地盤境界に関する剛性マトリクス（力－変位関係）を求め、建屋地下部が剛体とした境界条件を考慮することにより、建屋地下側面地盤の水平ばねを算定している。



第 3.3-1 図 2次元地盤に対する境界要素法の概念図

3.4 解析フローチャート

解析の手順の概略を示すと第 3.4-1 図のとおりである。



第 3.4-1 図 解析フローチャート

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

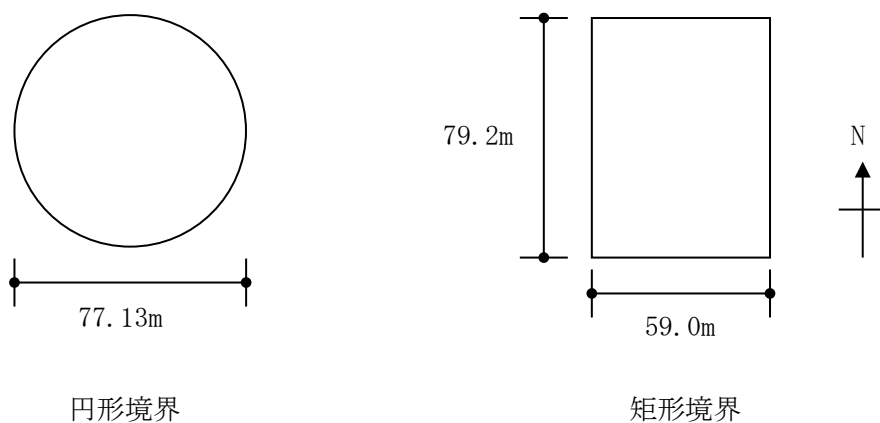
3.5.1 検証(Verification)

BOUND A-2 の解析結果と他解析コードによる結果（解析解）を比較することにより，妥当性について検証する。

周辺地盤の算定諸元は以下のとおりとした。

- ・ポアソン比： $\nu = 0.32$
- ・減衰： $h = 0\%$
- ・地盤のせん断波速度：2,200m/s
- ・単位体積重量：2.7tf/m³

建屋と地盤の境界は下記の2種類とする。



円形境界

矩形境界

第 3.5.1-1 図 建屋と地盤の境界形状

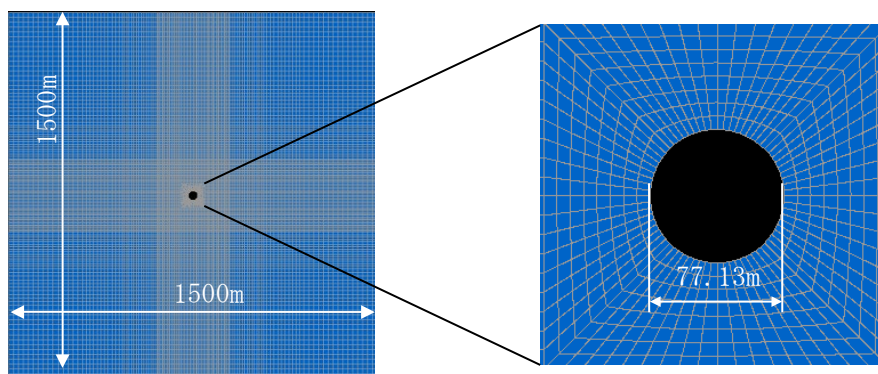
(1) 円形境界の場合

円形境界の場合はNOVAKによる方法でも地盤ばねを算定できるため、以下の3つの方法で、水平ばねを比較した。

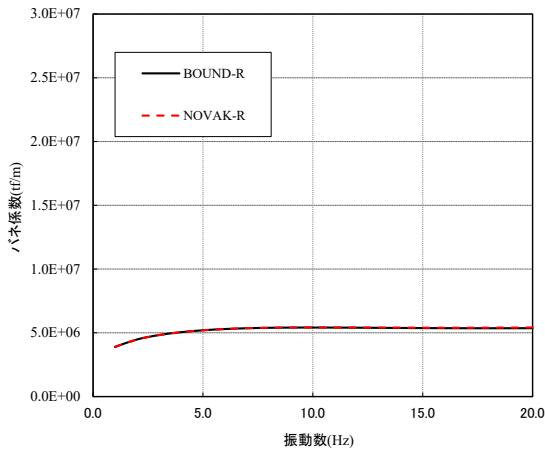
手法 a : BOUNDA-2 により算定

手法 b : NOVAK により算定

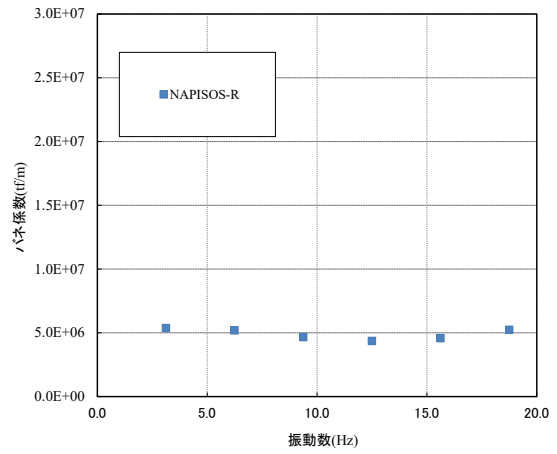
手法 c : NAPISOS により FEM モデルを作成して算定



第 3.5.1-2 図 NAPISOS の円形境界解析モデル

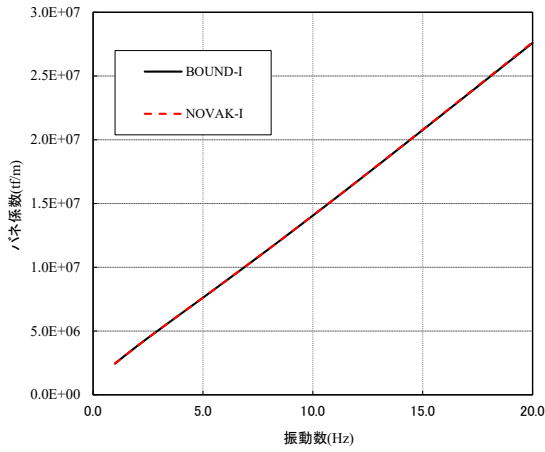


BOUNDA-2 と NOVAK

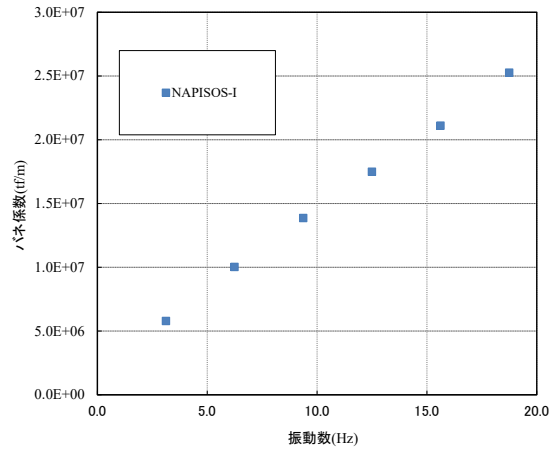


NAPISOS

実部



BOUNDA-2 と NOVAK



NAPISOS

虚部

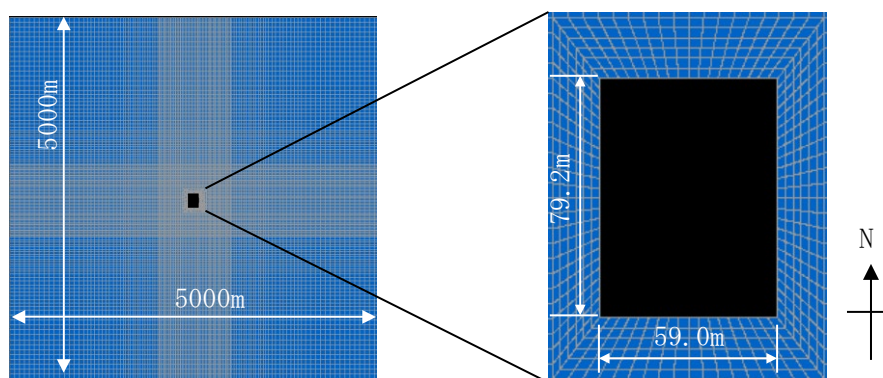
第 3.5.1-3 図 円形境界の水平ばね

(2) 矩形境界の場合

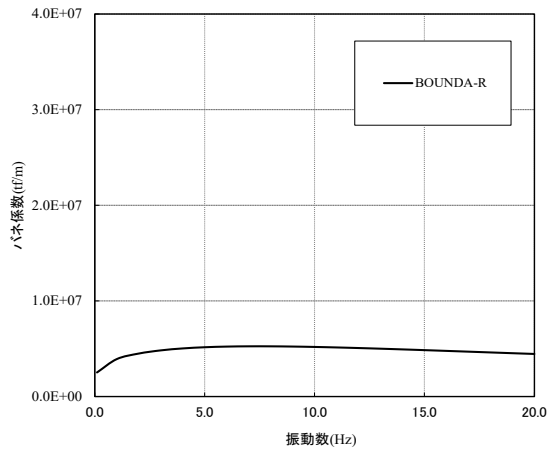
BOUND A-2 による方法と, FEM モデルを作成して NAPISOS により求める方法で, 水平ばねを比較した。

手法 a : BOUND A-2 により算定

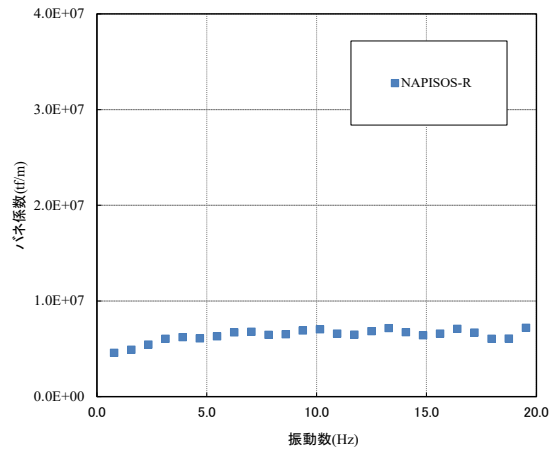
手法 b : NAPISOS により FEM モデルを作成して算定



第 3.5.1-4 図 NAPISOS の矩形境界解析モデル

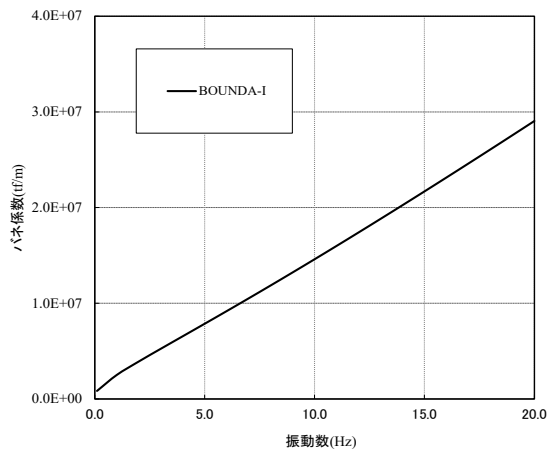


BOUNDA-2

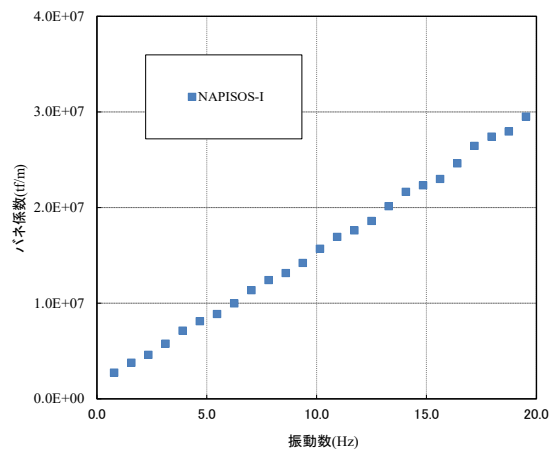


NAPISOS

実部



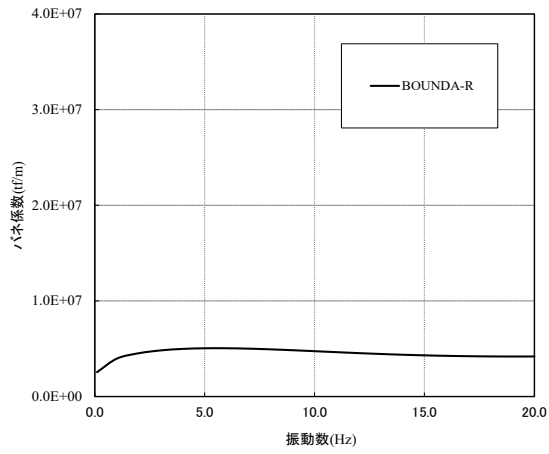
BOUNDA-2



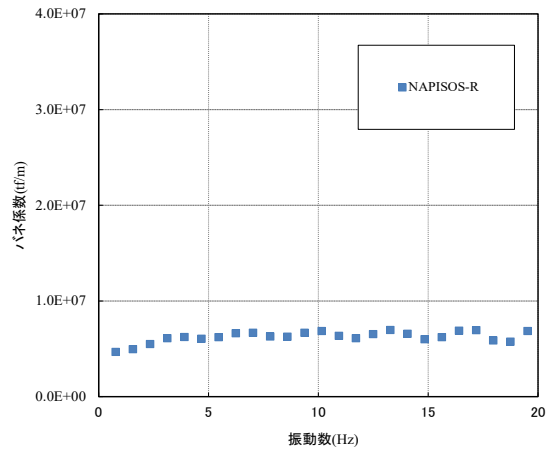
NAPISOS

虚部

第 3.5.1-5 図 矩形境界の NS 方向水平ばね

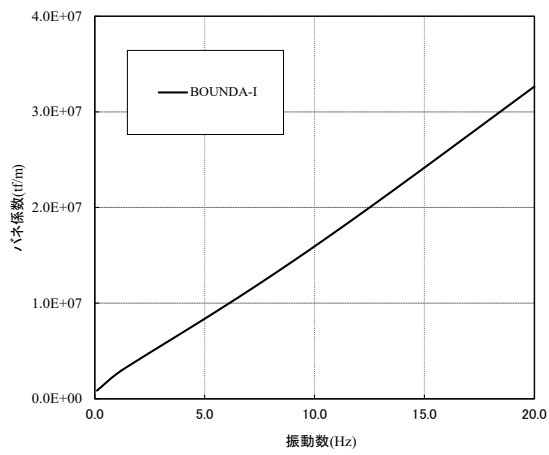


BOUNDA-2

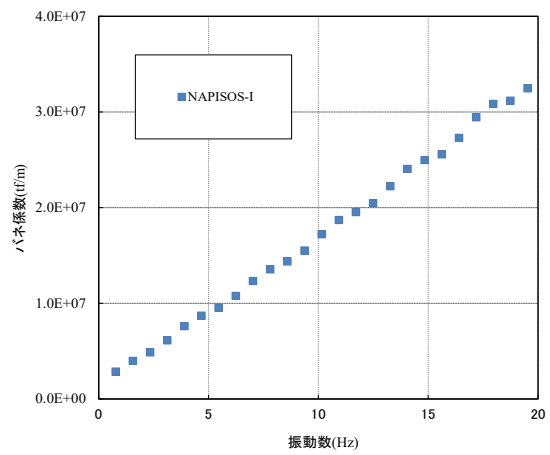


NAPISOS

実部



BOUNDA-2



NAPISOS

虚部

第 3.5.1-6 図 矩形境界の EW 方向水平ばね

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。

- ・ 本申請における本解析コードの使用目的は側面地盤ばねの算定であることに対し、「3.5.1 検証 (Verification)」に示したとおり、同種の解析について検証を行っていることから、本解析コードを本申請における解析に使用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より、本解析コードを建物・構築物の側面地盤ばねの算定に用いることは妥当である。

別紙 8 HBEM02

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 2.4.1 Ver. 2.4.2
IV-2-2-2 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋の耐震性についての計算書	Ver. 2.4.2
IV-5-2-1 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2.4.2
IV-5-2-3 -1-2	使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）の耐震性についての計算書	Ver. 2.4.2

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-3-1	精製建屋の地震応答計算書	Ver. 2.4.1 Ver. 2.4.2
IV-5-2-1 -1-3-1	精製建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2.4.2
IV-5-2-3 -1-5	ガラス固化体受入れ建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2.4.1

2. 解析コードの概要

コード名 項目	HBEM02
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1985年
使用したバージョン	Ver. 2.4.1, Ver. 2.4.2
使用目的	質点系モデルにおける側面地盤ばねの算出
コードの概要	HBEM02（以下、「本解析コード」という）は、鹿島建設が開発した、境界要素法（BEM）による建屋側面地盤の水平方向地盤複素ばねを算出するプログラムである。
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"> ・本解析コードを用いて、建屋側面の水平方向地盤複素ばねの解析を行い、別途検証済の解析コードによる解析結果と比較し、双方の解が概ね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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、側面地盤ばね算定に対して本解析コードと他コードとの比較を実施し、同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における側面地盤ばねの算出に使用することは妥当である。

3. 解析コードの解析手法について

3.1 概要

本解析コードは、鹿島建設により開発されたプログラムである。本解析コードは、弾性地盤を境界要素法（以下、BEM という）によりモデル化し、建屋側面の外壁部を剛体とし加振振動数に対応した水平方向の複素地盤ばねを算出することができる。

3.2 本解析コードの特徴

- (1) 地盤と建屋の境界形状を境界要素を用いてモデル化し、建屋側面の加振による複素地盤ばねを算出する。
- (2) 本解析コードは、次の仮定を設けて複素地盤ばねを算定している。
 - ・建屋側面の外壁部より外側は、水平方向に無限に広がっているものとする。
 - ・地盤物性は、密度、せん断波速度（又はせん断弾性係数）、ポアソン比及び減衰定数を入力することで定義する。

3.3 解析理論

3.3.1 基礎式

一般に加振問題及び入射問題における境界要素法の積分方程式は次式で示される。

$$c_j^i u_j^i + \int_S q_{jk}^* u_k dS - \int_S u_{jk}^* q_k dS = f \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに,

$$f = 0 \quad (\text{加振問題})$$

u_k, q_k : 境界 S における変位及び表面力

u_{jk}^*, q_{jk}^* : 対象としている場における変位及び表面力の Green 関数

c_j^i : なめらかな境界では 0.5

u_j^i : 境界 S 上の点 i における j 方向の変位

3.3.2 境界要素による積分方程式の離散化

境界 S を微少要素 (境界要素) で分割し, それぞれの要素の変位と表面力に対して内挿関数を用いることによって(1)式を離散化すると, 次式のような代数方程式が得られる。

$$[C] \{U\} + [H] \{U\} - [G] \{Q\} = \{F\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに,

$$\{F\} = \{0\} \quad (\text{加振問題})$$

$[H]$: q_{jk}^* をそれぞれの境界要素で積分して得られる影響行列

$[G]$: u_{jk}^* をそれぞれの境界要素で積分して得られる影響行列

$[C]$: c_j^i から成る対角行列

$\{U\}, \{Q\}$: 境界における変位ベクトル及び表面力ベクトル

3.3.3 境界における力と変位の関係

境界における節点力ベクトル $\{P\}$ と変位ベクトル $\{U\}$ との関係を導くために、(2)式を表面力ベクトル $\{Q\}$ に関して変形し、更に表面力ベクトル $\{Q\}$ を節点力ベクトル $\{P\}$ に変換する行列 $[A]$ を適用すると加振問題では次式が得られる。

$$\{P\} = [A][G]^{-1}[\hat{H}]\{U\} = [K]\{U\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

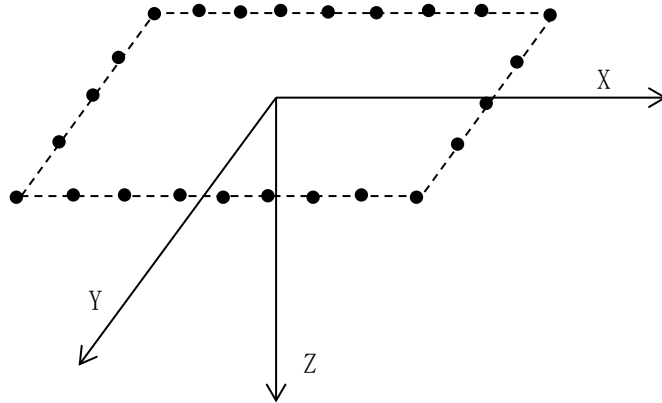
ここに、

$$[\hat{H}] = [C] + [H]$$

$[K]$: インピーダンスマトリックス

3.3.4 建屋側面の地盤ばねの算定

(3)式において加振問題を想定して、面内(X, Y)を対象とする2次元問題における地盤ばね $[K]$ を算定する。

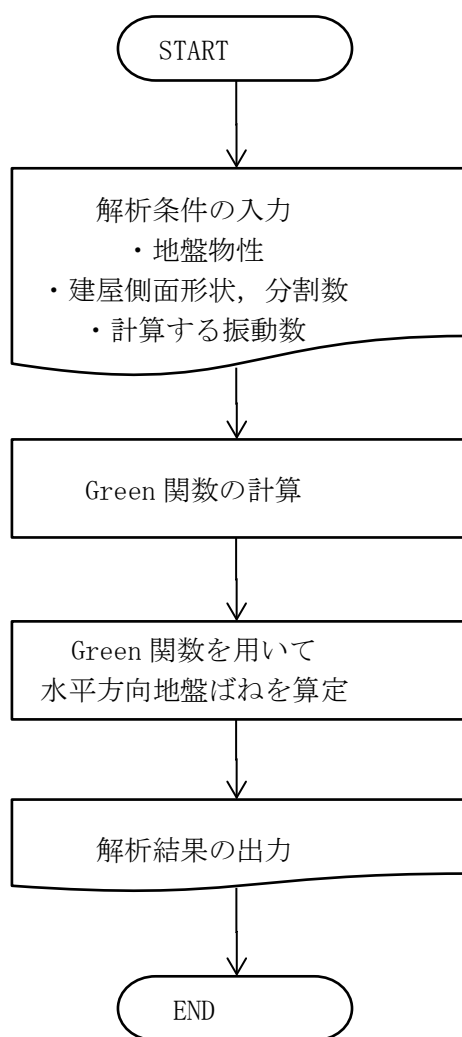


3.4 解析フローチャート

解析手順の概略を示すと以下の通りである。

- (1) 地盤物性, 建屋側面形状, 分割数及び計算する振動数を指定する。
- (2) Green 関数を計算する。
- (3) Green 関数を用いて, 建屋側面の水平方向地盤ばねを計算する。
- (4) 結果の出力

本解析コードの解析フローチャートを第 3.4-1 図に示す。



第 3.4-1 図 解析フローチャート

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

3.5.1 検証(Verification)

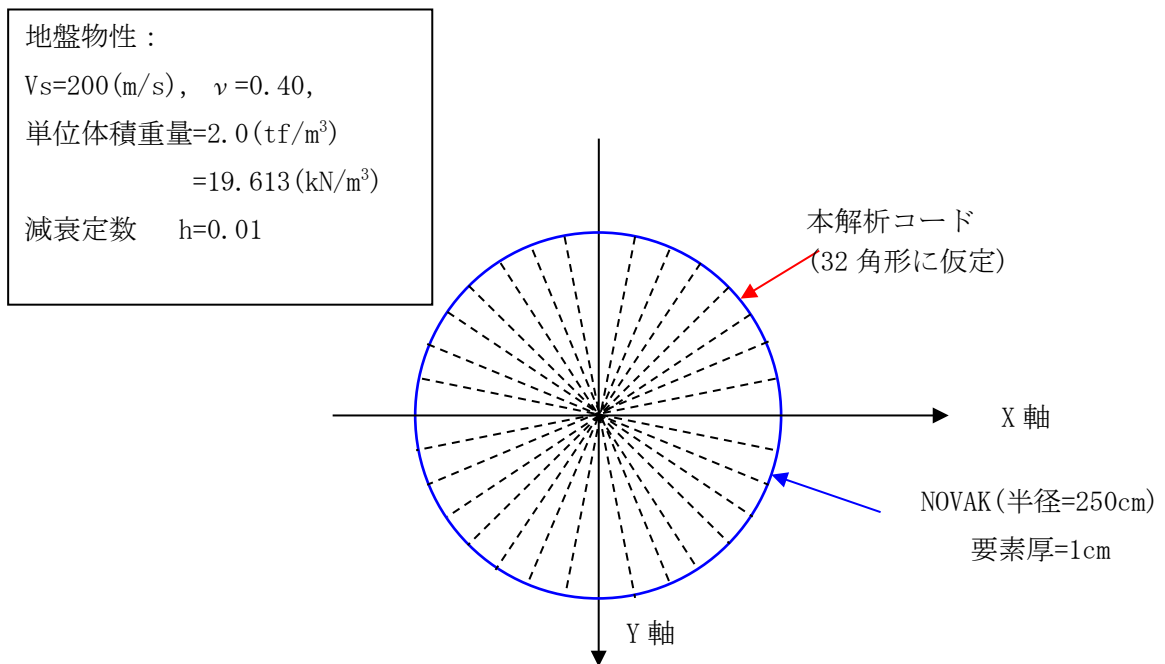
本解析コードは、「3.3 解析理論」に示した一般性を有する理論モデルそのままに構築されたものであり、「3.4 解析フローチャート」に示したプログラム構造を持っている。

こうした特徴を踏まえ、今回の解析機能に特化する形で、本解析コードと検証済解析コード「NOVAK」の解析結果を比較することにより、本解析コード解析解の適切さを確認している。

(1) 解析条件

解析に用いる地盤及び基礎の諸元を第3.5-1図に示す。

ここで、加振は応力一様加振とする。



第 3.5-1 図 解析条件及び解析モデル

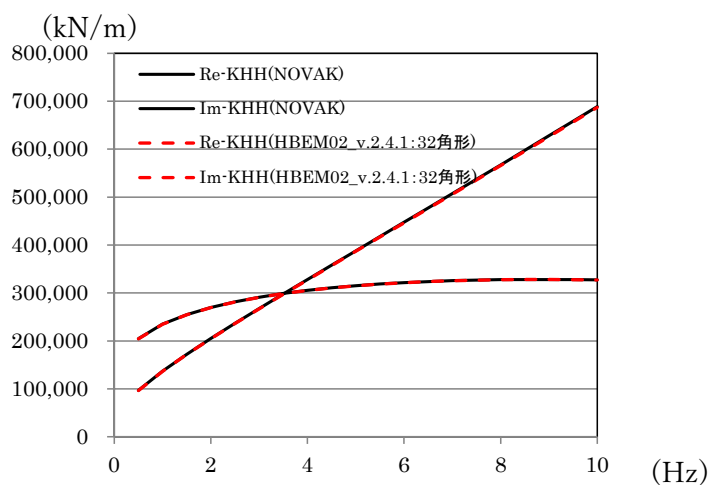
(2) 解析結果

円形建屋外壁に対する水平方向の複素地盤ばねを算定し、本解析コードによる結果と検証済解析コード「NOVAK」による解析結果の比較を第3.5-2図に示す。

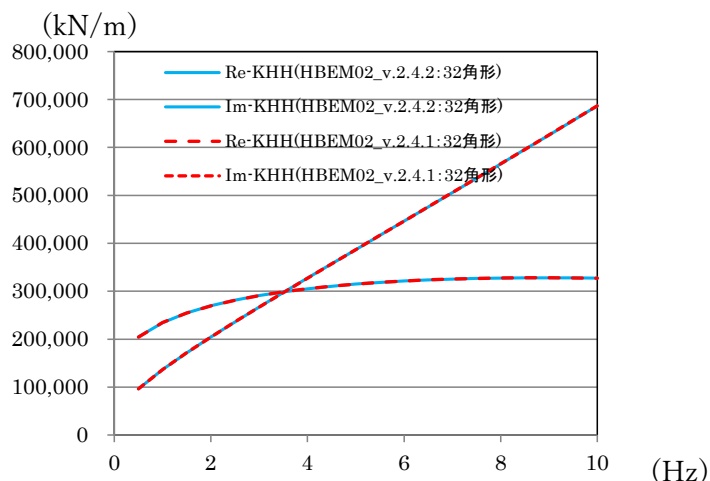
また、本解析コードのバージョン毎の解析解の比較を第3.5-3図に示す。

第3.5-2図より、両者は一致していることから、本解析コードが建屋側面の水平ばねを正しく評価していることが確認できる。

また、第3.5-3図より、本解析コードの解析結果にバージョンの違いは見られないことが確認できる。



第3.5-2図 検証済解析コード NOVAK と本解析コードによる水平方向複素地盤ばねの比較



第3.5-3図 各バージョンによる水平方向複素地盤ばねの比較

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。

- 本申請における本解析コードの使用目的は地震応答解析モデルにおける側面地盤ばね算定であることに対し、「3.5.1 検証 (Verification)」に示したとおり、同種の解析について検証を行っていることから、本解析コードを本申請における解析に使用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より、本解析コードを地震応答解析モデルにおける側面地盤ばね算定に使用することは妥当である。

別紙9 NOVAK

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-5-1	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 2002.01
IV-5-2-1 -1-5-1	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2002.01

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NOVAK
開発機関	大林組（一般理論のコード化）
開発時期	1986年（初版）
使用したバージョン	2002.01版
使用目的	質点系モデルにおける側面地盤ばねの算定
コードの概要	NOVAK（以下、「本解析コード」という。）は、質点系モデルにおける側面地盤ばねを Novak の方法により求める計算機コードである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証の内容(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解と実績のあるプログラムによる解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認した。 ・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"> ・九州電力株式会社玄海発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、側面地盤ばねについて実績のあるプログラムによる解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認していることから、本解析コードを本申請における側面地盤ばねの算定に使用することは妥当である。

別紙 10 NOVAK

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-2-2 -1-1-16	低レベル廃棄物処理建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NOVAK
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1979年
使用したバージョン	Ver. 1.0
使用目的	質点系モデルにおける側面地盤ばね算定
コードの概要	<p>NOVAK（以下、「本解析コード」という。）は、株式会社竹中工務店が独自に開発したコードである。</p> <p>NOVAKは、Novakの論文*に基づき、水平、上下、回転成分の単位深さあたりの地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。</p> <p>原子力産業界において、地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねの算定に用いられている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> ・水平方向に無限の広がりをもつ剛円盤の水平・上下・回転ばねを対象として、本解析コードの解析解と、「入門・建物と地盤との動的相互作用」（日本建築学会）に添付されているコードによる解析解がほぼ一致す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)】</p> <p>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"> ・関西電力株式会社美浜発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、側面地盤ばね算定に対して本解析コードと既往文献に添付される他コード及び実績のあるプログラムによる解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認していることから、本解析コードを本申請における側面地盤ばね算定に使用することは妥当である。

注記 * : Novak, M, et al. : “Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case”, The Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 1978, pp. 953-959.

別紙 11 NOVAK (AIJ)

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-2-2 -1-1-3	ウラン脱硝建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-2-2-2 -1-1-4	ウラン酸化物貯蔵建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-3 -1-3	ウラン脱硝建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-3 -1-4	ウラン酸化物貯蔵建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NOVAK (AIJ)
開発機関	日本建築学会
開発時期	2006 年
使用したバージョン	Ver. 1.0
使用目的	質点系モデルにおける側面地盤ばね算出
コードの概要	<p>NOVAK (AIJ) (以下「本解析コード」という。)は, Novak の論文*に基づき, 水平動, 上下動, 回転及びねじれに対する単位深さ当たりの地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。</p> <p>本解析コードは, 「建物と地盤の相互作用を考慮した応答解析と耐震設計」(日本建築学会, 2006 年発行)に付録として添付されている解析コードである。</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は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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, 学会における公開文献(「建物と地盤の相互作用を考慮した応答解析と耐震設計」(日本建築学会, 2006 年発行))において, Novak の論文と一致するプログラムとして公開されている解析コードであることから, 本解析コードを本申請における側面地盤ばね算定に使用することは妥当である。

注記 * : M. NOVAK, T. NOGAMI and F. ABOUL-ELLA, " DYNAMIC SOIL REACTION FOR PLANE STRAIN CASE", EM4, ASCE, 1978 年

別紙 12 wevebem

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-4-1	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書	Ver. 1.04
IV-2-1-1 -1-9-1	第1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟の地震応答計算書	Ver. 1.04
IV-2-1-1 -1-11-1	ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 1.04
IV-5-2-1 -1-4-1	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.04
IV-5-2-1 -1-9-1	第1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.04

2. 解析コードの概要

コード名 項目	wavebem
開発機関	大林組（一般理論のコード化）
開発時期	2016年
使用したバージョン	Ver. 1.04
使用目的	質点系モデルにおける側面地盤ばねの計算
コードの概要	<p>Wavebem（以下、「本解析コード」という。）は、建屋側面動的地盤ばねを境界要素法により求める計算機コードである。</p> <p>境界要素法であるため任意の建屋形状の動的地盤ばねを計算することができる。</p> <p>境界要素ごとに変位境界及び応力境界を任意に設定出来るため、建屋が地盤に接しない部分についても表面力をゼロとした境界を含む問題として適用可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本計算機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"> ・本計算機コードにより計算した建屋形状が円形の場合の動的地盤ばねを「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（日本建築学会）」に添付されたプログラム（NOVAK）による計算結果と比較し、両者が一致することを確認している。 ・建屋形状が矩形の場合を想定した場合の建屋側面水平動的地盤ばねを本計算機コード及び3次元地盤FEM解析プログラムで評価し、両者が一致することを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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"> ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、建屋側面動的地盤ばねの算定について他コードとの比較を実施し、本解析コードが他コードと同等の解を与えることを確認されていることから、本解析コードを本申請における側面地盤ばねの算定に使用することは妥当である。

3. 解析コードの解析手法について

3.1 概要

wavebem は、建屋側面動的地盤ばねを境界要素法により求める計算機コードである。

3.2 本計算機コードの特徴

- (1) 境界要素法であるため任意の建屋形状動的地盤ばねを計算することが出来る。
- (2) 水平、回転及び上下の動的地盤ばねの計算に対応している。
- (3) 地盤の材料減衰を定義することが出来る（無定義も可）。
- (4) 節点数及び要素数の上限はない（使用するシステムのメモリサイズに依存する）。
- (5) 各境界要素ごとに変位境界及び応力境界を任意に設定出来る為、建屋が地盤に接しない部分についても表面力をゼロとした境界を含む問題として適用可能である。

3.3 解析理論

(1) 一様弾性体の基礎方程式

領域 Ω を有する一様弾性体を想定する。この時、時間領域において、弾性微小体の釣り合い方程式、応力-ひずみ関係、ひずみ-変位関係は次式で表される。

釣り合い方程式：

$$\rho \ddot{\mathbf{u}}(\mathbf{x}, t) = \nabla \cdot [\boldsymbol{\tau}(\mathbf{x}, t)] + \mathbf{b}(\mathbf{x}, t) \quad (3.3.1)$$

応力-ひずみ関係：

$$[\boldsymbol{\tau}(\mathbf{x}, t)] = \lambda (\nabla \cdot \mathbf{u}(\mathbf{x}, t)) [\mathbf{I}] + 2\mu [\mathbf{e}(\mathbf{x}, t)] \quad (3.3.2)$$

ひずみ-変位関係：

$$[\mathbf{e}(\mathbf{x}, t)] = \frac{1}{2} \left\{ \nabla \otimes \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) + (\nabla \otimes \mathbf{u}(\mathbf{x}, t))^T \right\} \quad (3.3.3)$$

ここに、

ρ : 密度

$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$: 変位ベクトル

$[\boldsymbol{\tau}(\mathbf{x}, t)]$: 応力テンソル

$\mathbf{b}(\mathbf{x}, t)$: 物体力ベクトル

∇ : 勾配演算子ベクトル

$[\mathbf{e}(\mathbf{x}, t)]$: ひずみテンソル

$[\mathbf{I}]$: 単位行列

λ, μ : ラメ定数

λ と μ は、弾性係数 E およびポアソン比 ν を用いて次式で表す。

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (3.3.4)$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3.3.5)$$

弾性係数は、減衰定数 h を有する場合、次式の複素弾性係数 E^* を用いる。

$$E^* = (1 - 2ih)E \quad (3.3.6)$$

(2) 建屋側面動的地盤ばね K の概略の流れ>

- ① 地盤-建屋境界 Γ に, 単位加振変位 $\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{y}, \omega) = \mathbf{1} (\mathbf{y} \in \Gamma)$ を想定する。
- ② 式(3.1.13)により, 加振各点 $\mathbf{y}_i (\in \Gamma)$ に対して, 単位加振変位 $\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{y}, \omega) = \mathbf{1}$ 相当の加振力ベクトル $\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{y}_i, \omega) = \mathbf{G}^{-1}(\mathbf{y}, \mathbf{y}_i, \omega) \bar{\mathbf{u}}(\mathbf{y}, \omega)$ が求められる。
- ③ 上記②で求められた加振力ベクトル $\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{y}_i, \omega)$ を用いて, 地盤-建屋境界 Γ の単位面積あたりの表面力ベクトル $\mathbf{t}_n(\mathbf{y}, \omega)$ が次式により求められる。

$$\mathbf{t}_n(\mathbf{y}, \omega) = -\frac{1}{2} \mathbf{f}(\mathbf{y}, \omega) + \mathbf{T}(\mathbf{y}, \mathbf{y}_i, \omega) \bar{\mathbf{f}}(\mathbf{y}_i, \omega) \quad (3.3.7)$$

- ④ 建屋側面動的地盤ばね K は, 地盤-建屋境界 Γ の単位面積あたりの表面力ベクトル $\mathbf{t}_n(\mathbf{y}, \omega)$ に係る境界に沿った以下の積分値として表されることとなる。

$$K = \int_{\mathbf{y} \in \Gamma} \mathbf{t}_n(\mathbf{y}, \omega) \cdot \mathbf{e}_{ex} dS \quad ; \text{ここに } \mathbf{e}_{ex} : \text{加振力方向の単位ベクトル} \quad (3.3.8)$$

3.4 解析フローチャート

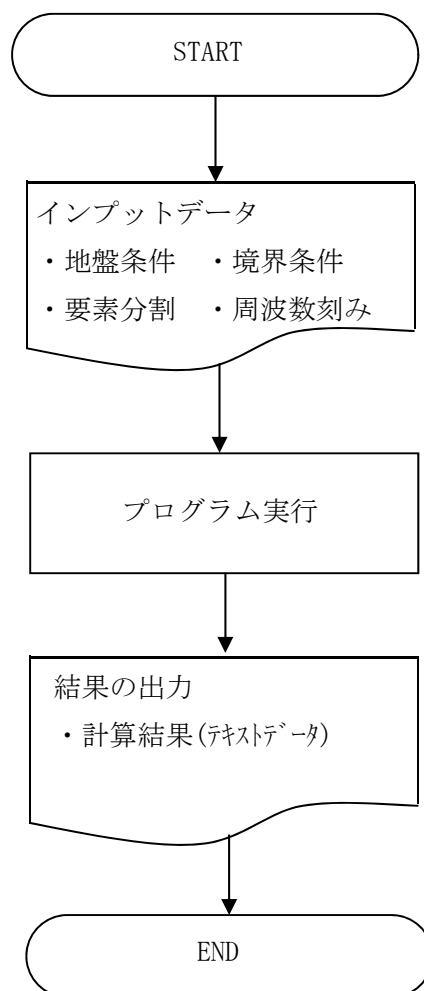


図 4-1 解析フローチャート

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

3.5.1 検証 (Verification)

(1) NOVAK のばねとの比較検証

建屋形状が円形の場合を想定し，水平，回転及び上下の建屋側面動的地盤ばねを本計算機コードと「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（日本建築学会）」に添付された NOVAK のばね計算プログラム（ソースプログラム「dnvk01.f」）で評価し，計算結果と比較した。

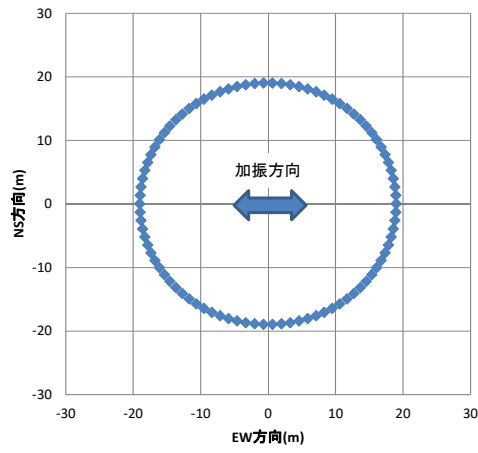
■解析諸元

- ・建屋形状 : 直径 38m の円形基礎（第 3.5.1-1 図）
- ・層厚 : 11.85m
- ・要素長さ : 円形外周を 90 分割した 1.326m ($\lt 1650\text{m/s} \div (5 \times 20\text{Hz}) = 16.5\text{m}$)
(第 3.5.1-1 図)。
- ・振動周期 : 1~20Hz までの 1Hz 刻み
- ・地盤物性 : 減衰は 0% (ケース 1) 及び 3% (ケース 2) とした (第 3.5.1-1 表)。

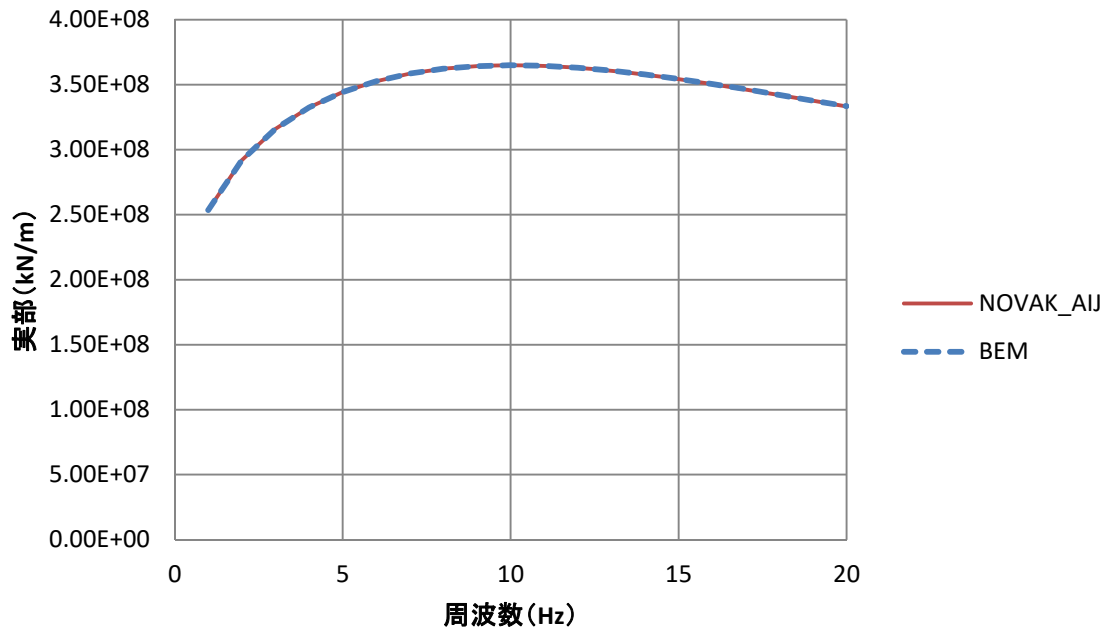
建屋側面の水平，回転，及び上下動的地盤ばねの比較結果を第 3.5.1-2 図及び第 3.5.1-3 図に示す。これより，両者の結果はほぼ一致することが確認された。

第 3.5.1-1 表 地盤諸元

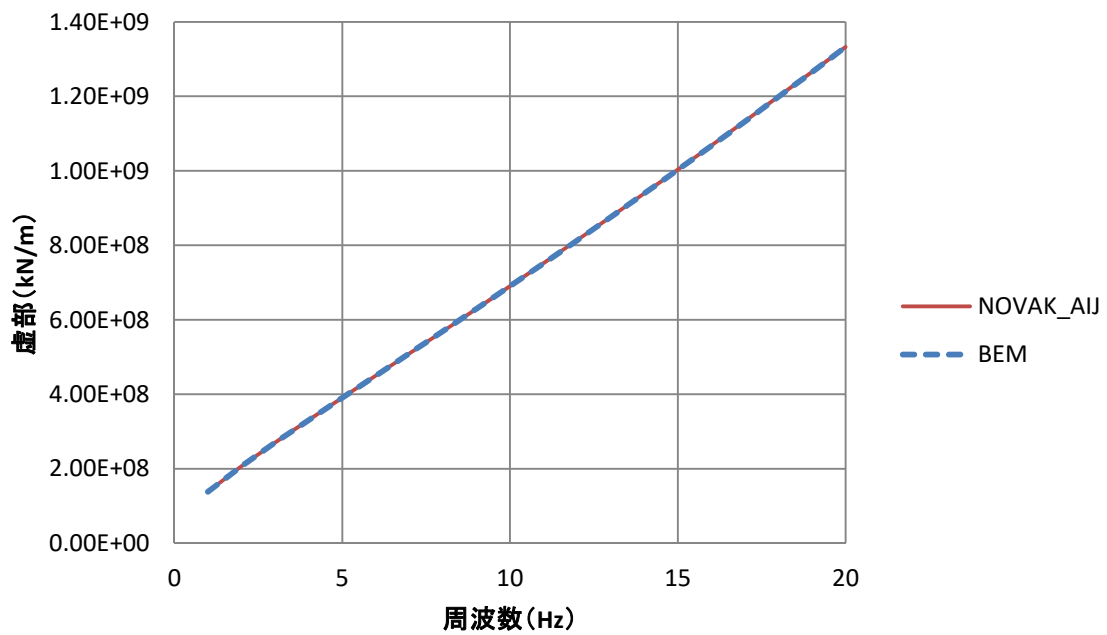
解析 ケース	せん断弾性係数 G (tf/cm ²)	単位体積重量 γ (tf/m ³)	ポアソン比 ν	せん断波速度 V_s (m/s)	減衰 h (%)
ケース 1	75	2.7	0.4	1650	0.0
ケース 2					3.0



第 3.5.1-1 図 解析モデル

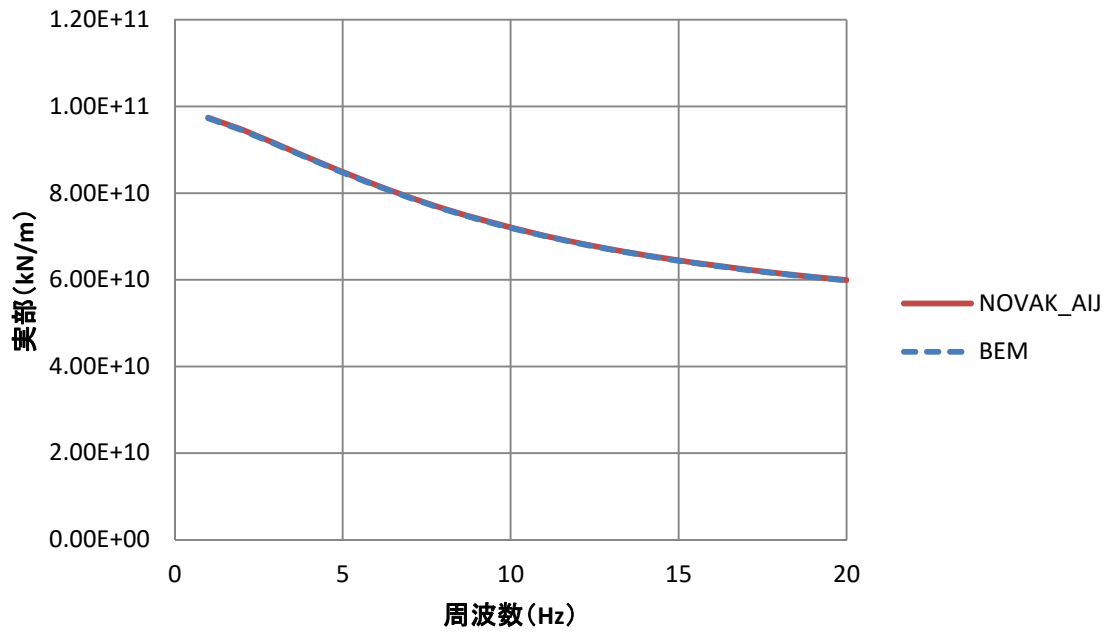


水平動的地盤ばね（実部）

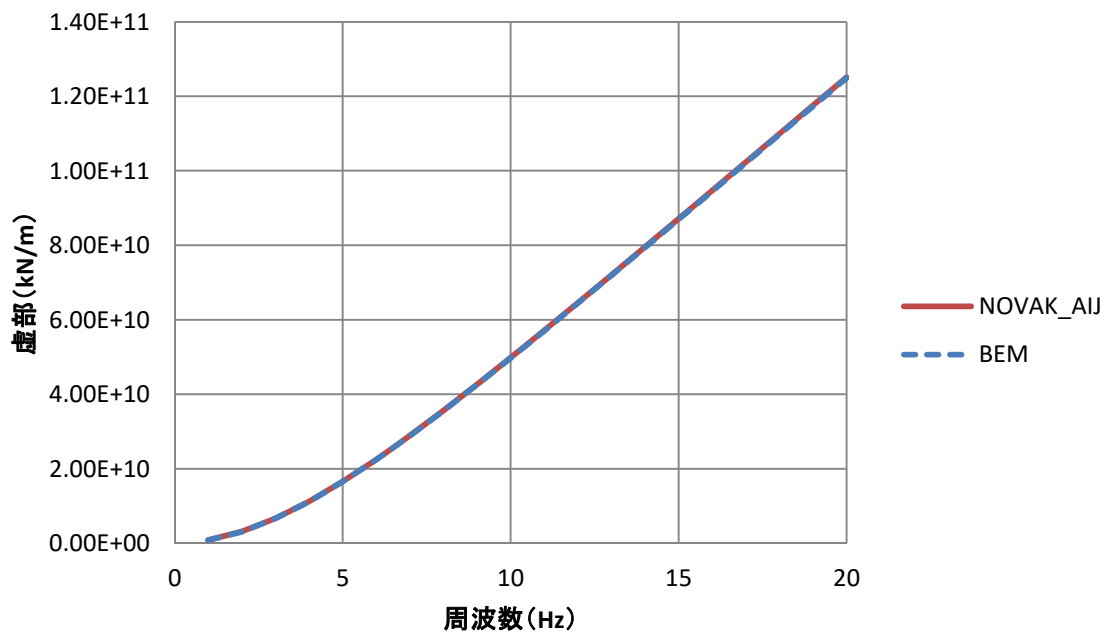


水平動的地盤ばね（虚部）

第 3. 5. 1-2 (1/3) 図 水平動的地盤ばねの比較
(ケース 1 (減衰 0%))

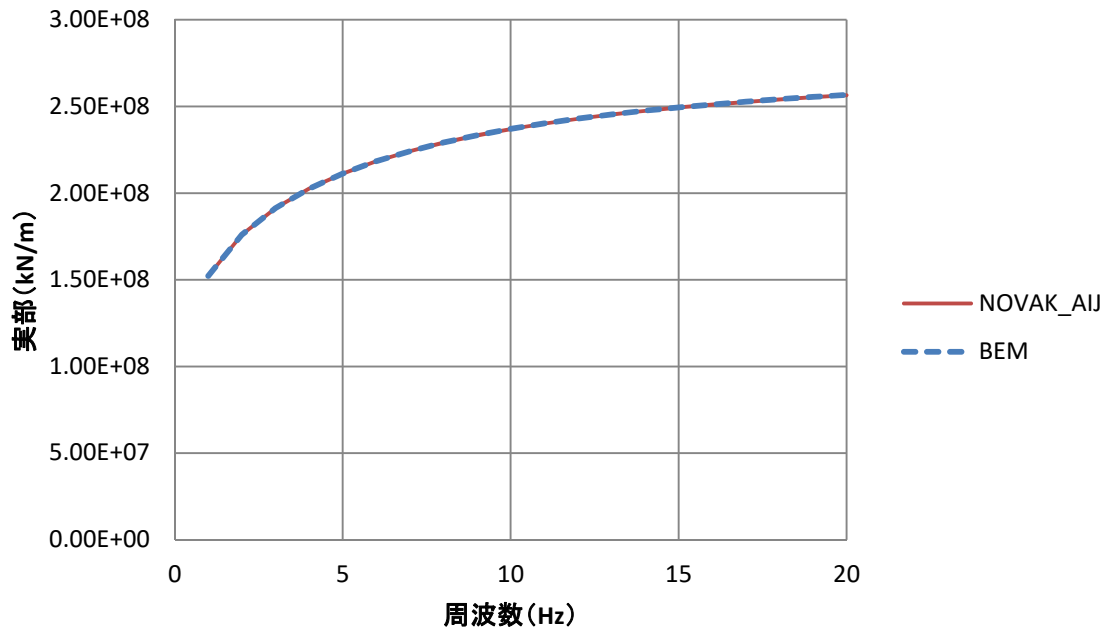


回轉動的地盤ばね (実部)

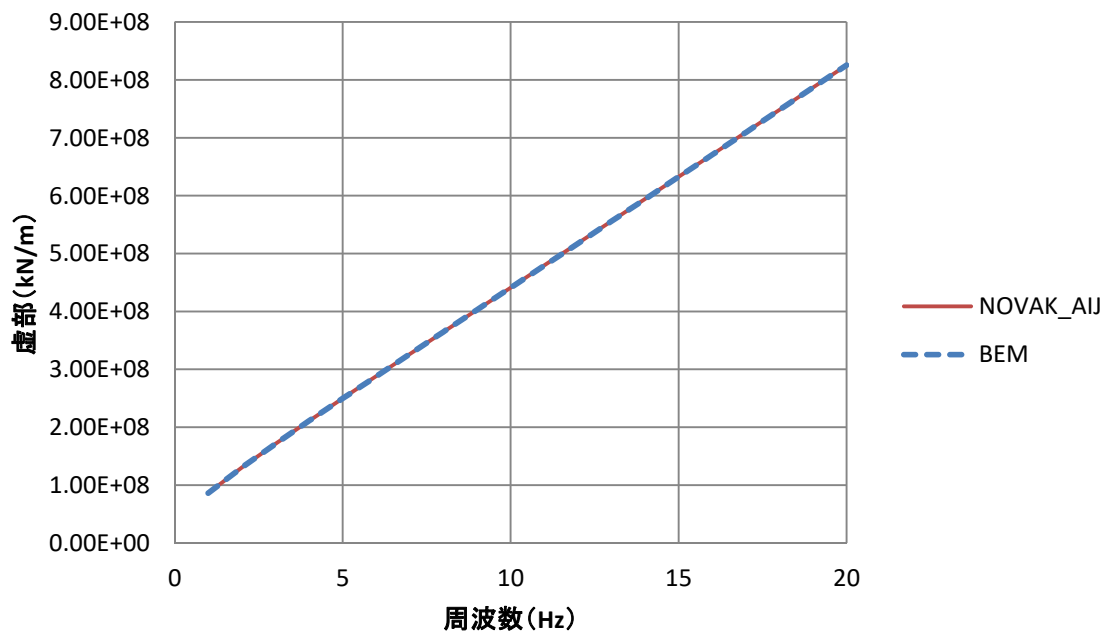


回轉動的地盤ばね (虚部)

第 3. 5. 1-2 (2/3) 図 回轉動的地盤ばねの比較
(ケース 1 (減衰 0%))

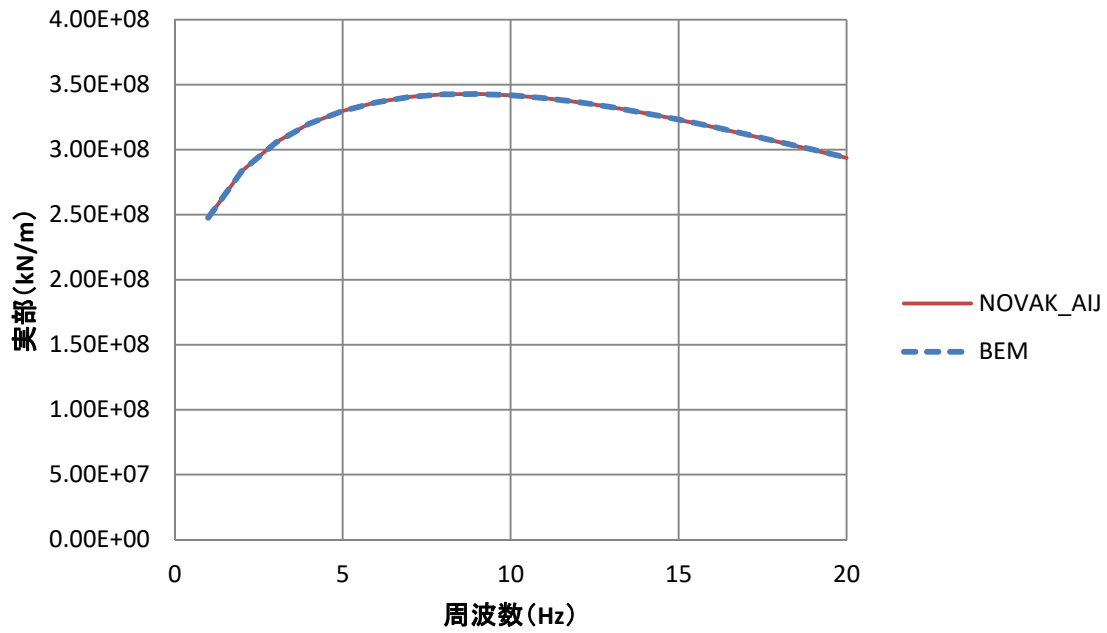


上下動的地盤ばね（実部）

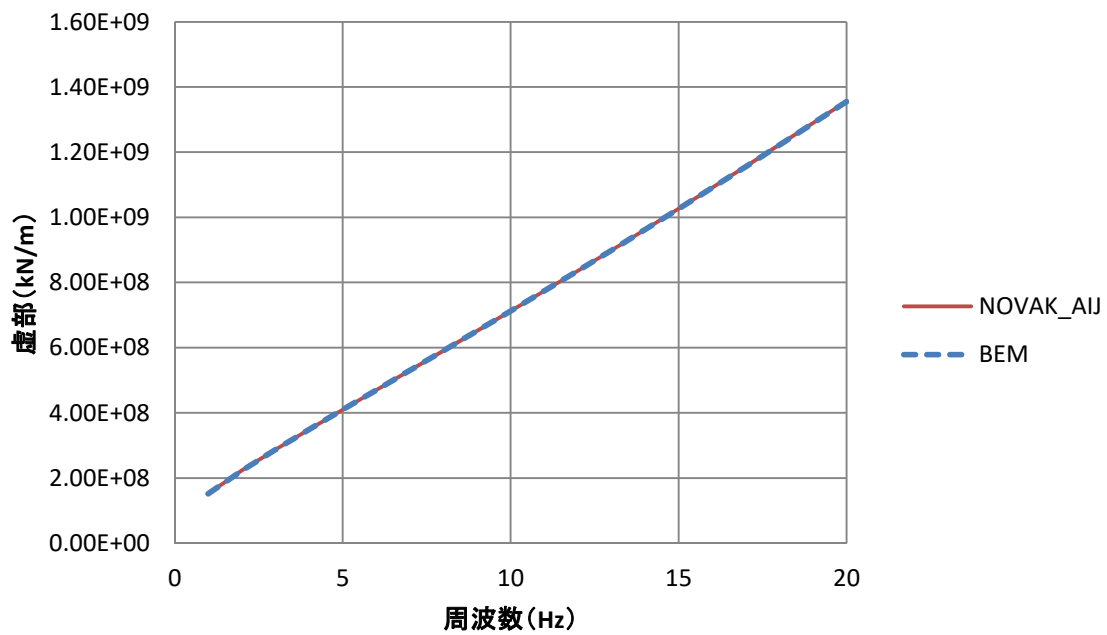


上下動的地盤ばね（虚部）

第 3. 5. 1-2 (3/3) 図 上下動的地盤ばねの比較
(ケース 1 (減衰 0%))

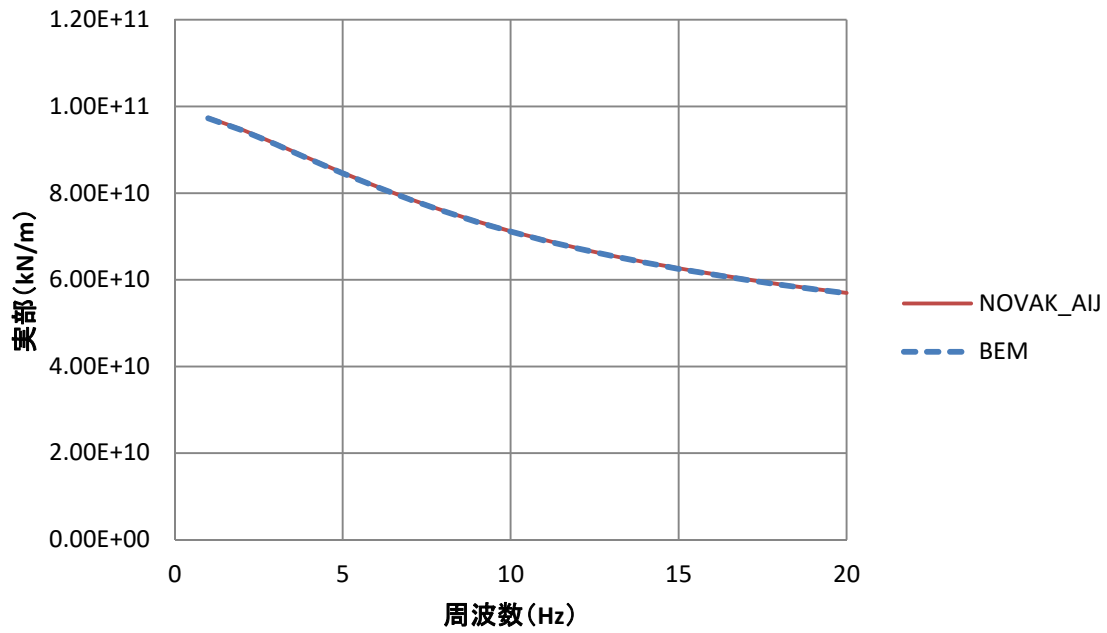


水平動的地盤ばね (実部)

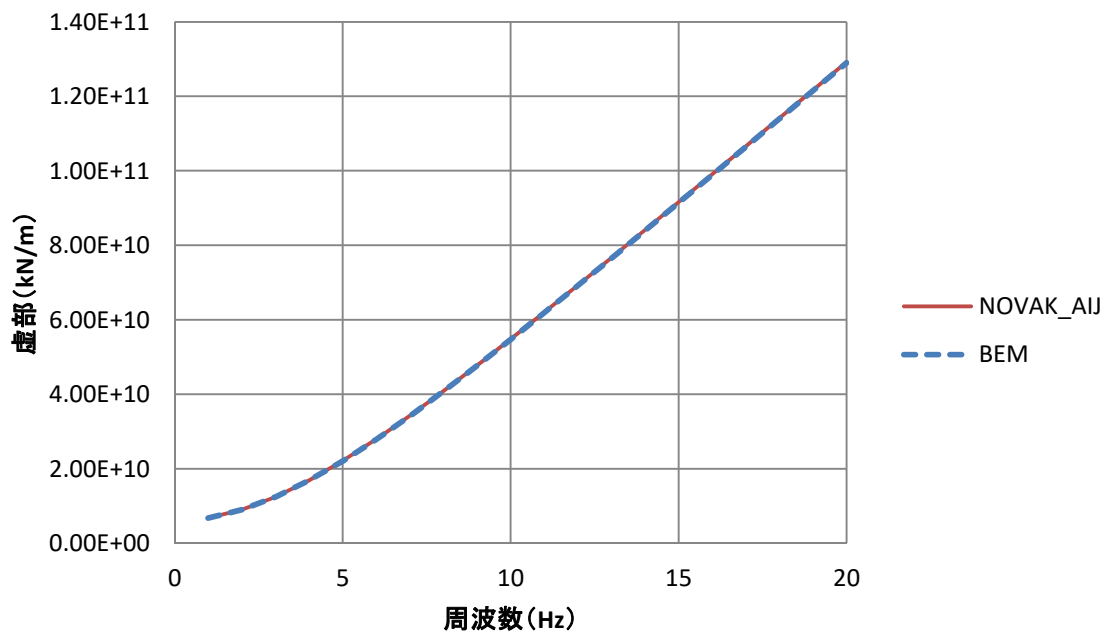


水平動的地盤ばね (虚部)

第 3.5. 1-3 (1/3) 図 水平動的地盤ばねの比較
(ケース 2 (減衰 3%))

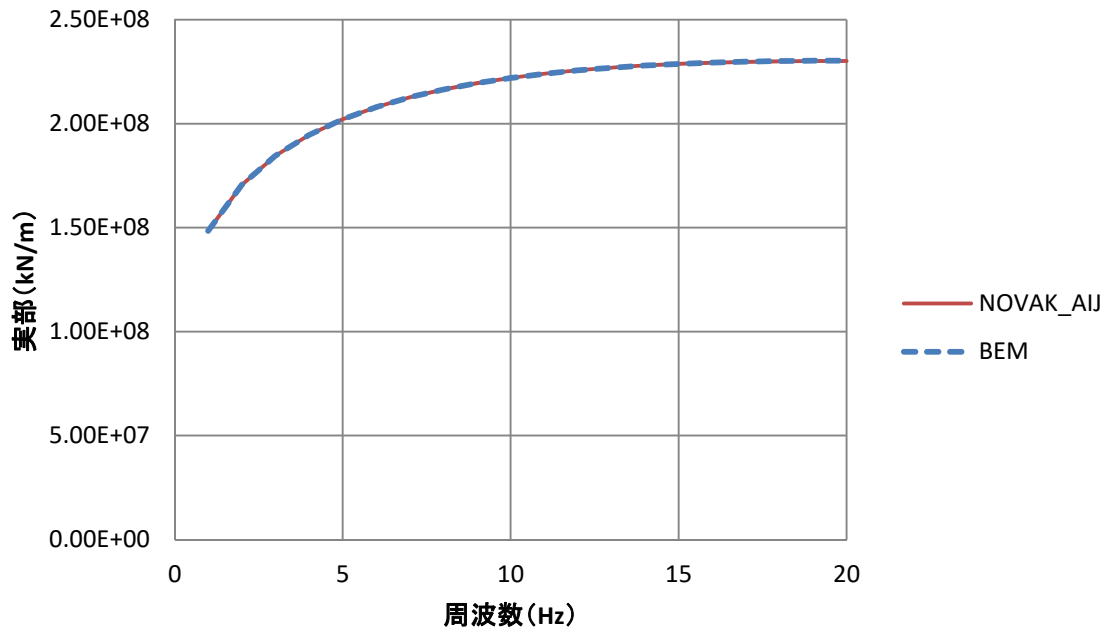


回轉動的地盤ばね (実部)

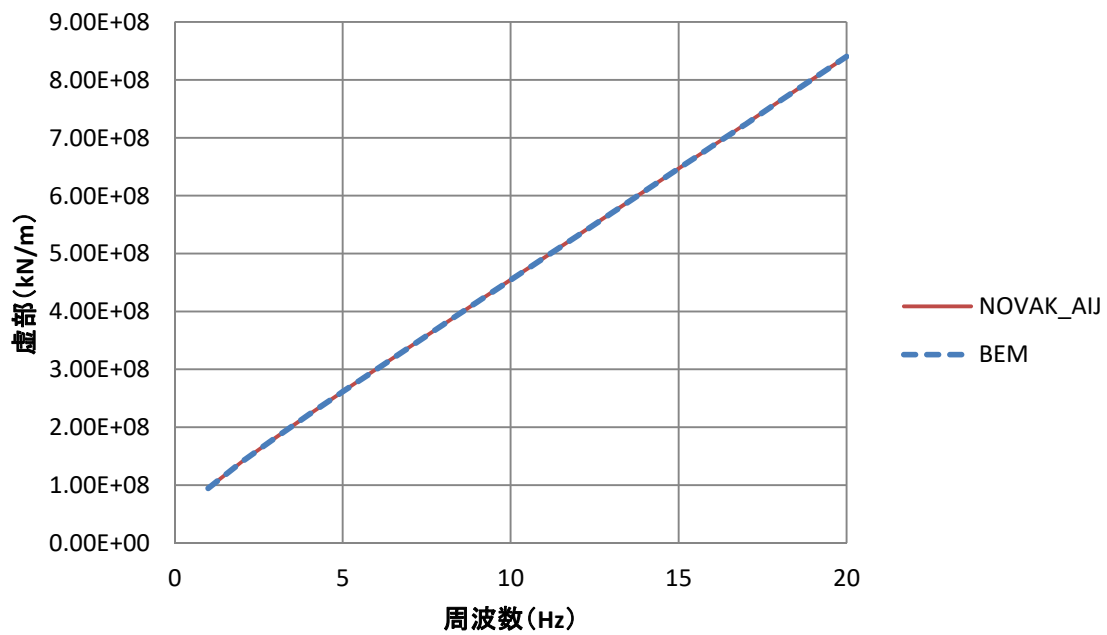


回轉動的地盤ばね (虚部)

第 3.5. 1-3 (2/3) 図 回轉動的地盤ばねの比較
(ケース 2 (減衰 3%))



上下動的地盤ばね (実部)



上下動的地盤ばね (虚部)

第 3.5.1-3 (3/3) 図 上下動的地盤ばねの比較
(ケース 2 (減衰 3%))

(2) 建屋形状が矩形の場合の検証

建屋形状が矩形の場合を想定し、建屋側面水平動的地盤ばねを本計算機コード及び 3 次元地盤 FEM 解析プログラム soilplus (SoilPlus CRC solver. 2014 r150625 for x64) で評価し、計算結果を比較した。

■解析諸元

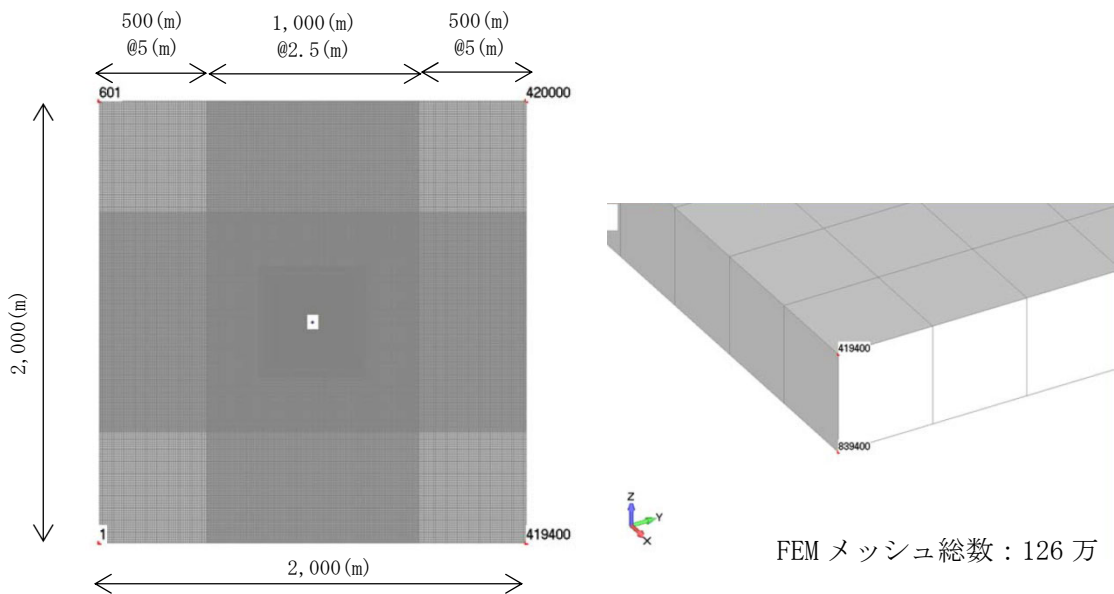
- ・ 建屋形状 : 71.56m×57.57m (NS×EW)
- ・ 層厚 : 1m
- ・ 振動周期 : 0.1~5Hz までの 0.1Hz 刻み
- ・ 解析ケース, 地盤物性及びメッシュ幅 :
地盤物性中 (ケース 1), 大 (ケース 2), 小 (ケース 3) の 3 ケース。
BEM のメッシュ幅は 1/8 波長 ($V_s/8f$, $f=5\text{Hz}$) で計算し, FEM ではケース 1~3 共通で 2.5m とした。

建屋側面水平動的地盤ばねの比較結果を第 3.5.1-5 図に示す。

- ・ 地盤物性中 (ケース 1) 及び大 (ケース 2) は BEM と FEM は良好に対応した。
- ・ 地盤物性小 (ケース 3) では FEM 解析結果において, 実部では 1Hz 以降, 虚部では 2Hz 以降で解が不安定になっており, 結果に差異が見られる。これは, FEM モデルのメッシュ幅 (2.5m) が 1/8 波長 (1.060m) に比べて粗いためであると考えられる。

第 3.5.1-2 表 地盤諸元

解析 ケース	地盤物性				メッシュ幅(m)		備考
	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ρ (kg/m ³)	h (%)	BEM	FEM	
ケース 1	157	370	1,820	0.0	3.925	2.5	地盤物性中
ケース 2	209	492	1,910	0.0	5.225	2.5	地盤物性大
ケース 3	42.2	99.9	1,730	0.0	1.060	2.5	地盤物性小



第 3.5.1-4(1/2)図 FEM 解析モデル (ケース 1~3 共通)

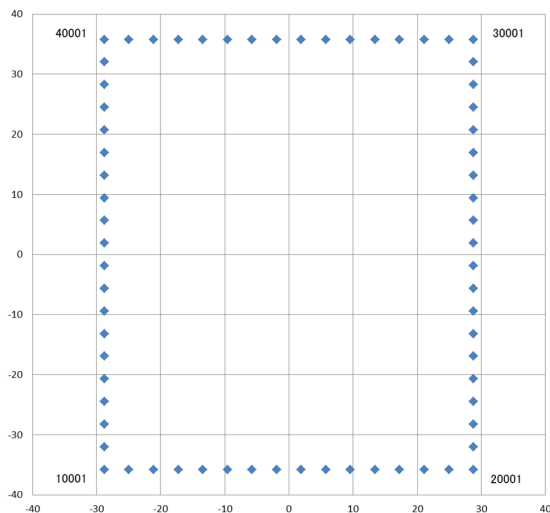
ケース 1

メッシュ幅：3.925(m)

NS 方向分割数：19

EW 方向分割数：15

メッシュ総数：68



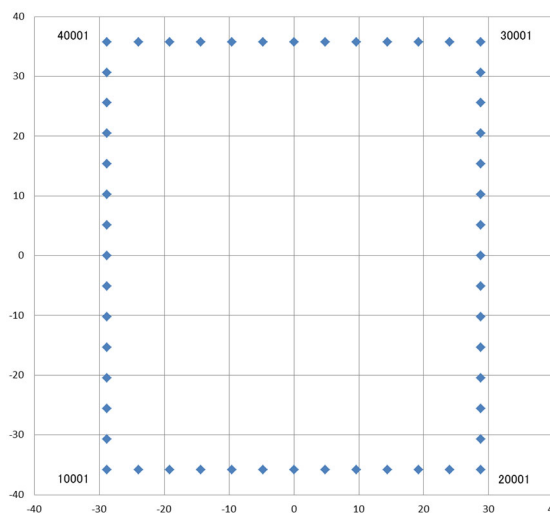
ケース 2

メッシュ幅：5.225(m)

NS 方向分割数：14

EW 方向分割数：12

メッシュ総数：52



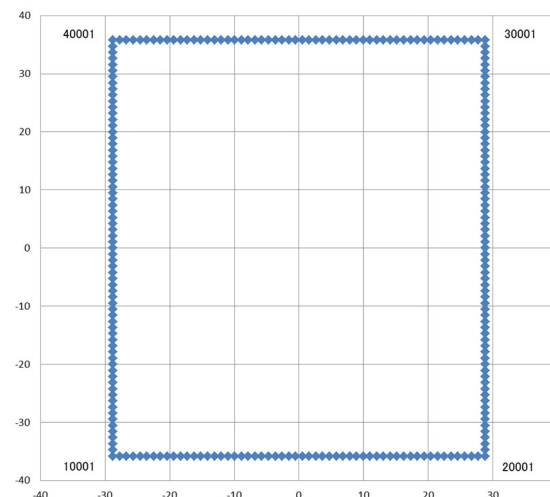
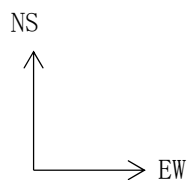
ケース 3

メッシュ幅：1.06 (m)

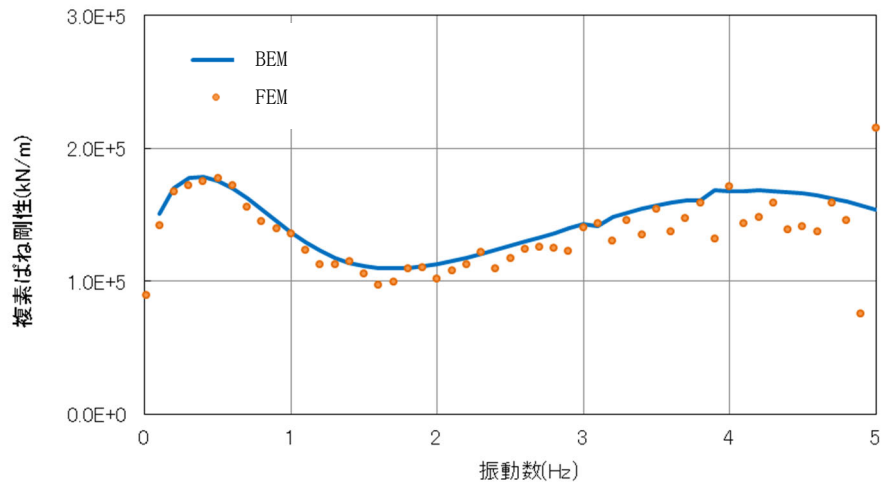
NS 方向分割数：68

EW 方向分割数：55

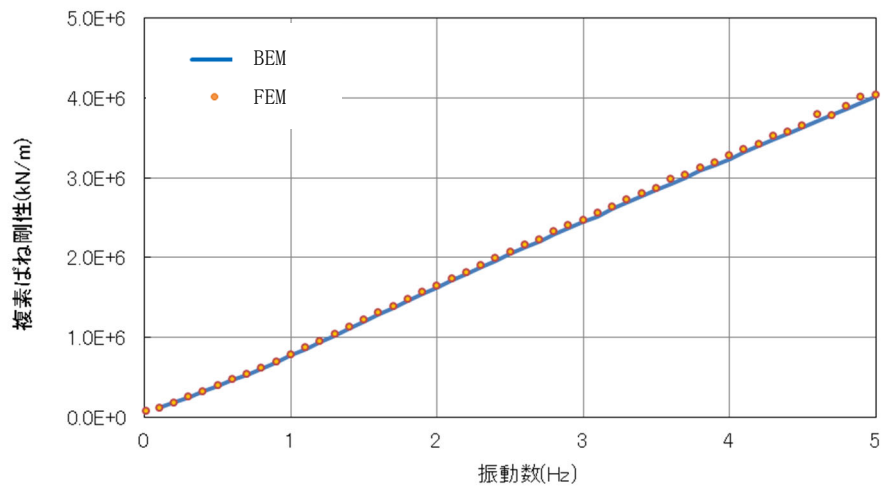
メッシュ総数：246



第 3.5.1-4(2/2) 図 BEM 解析モデル

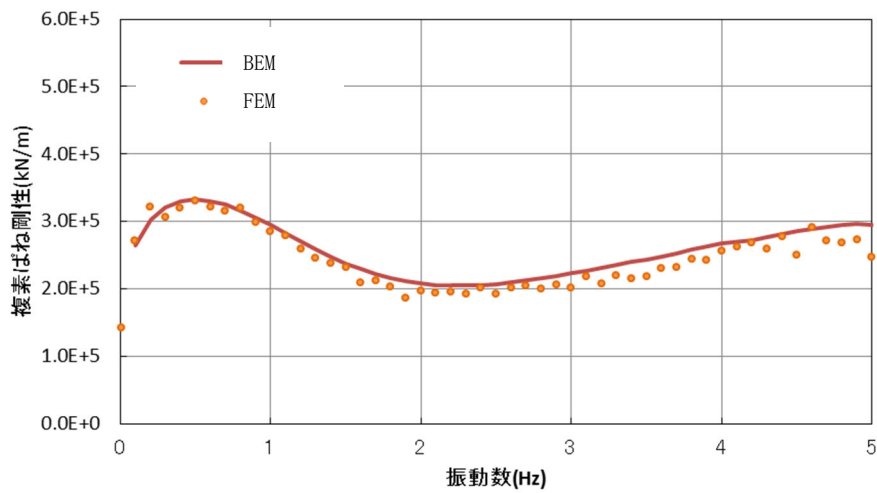


(a) 実部

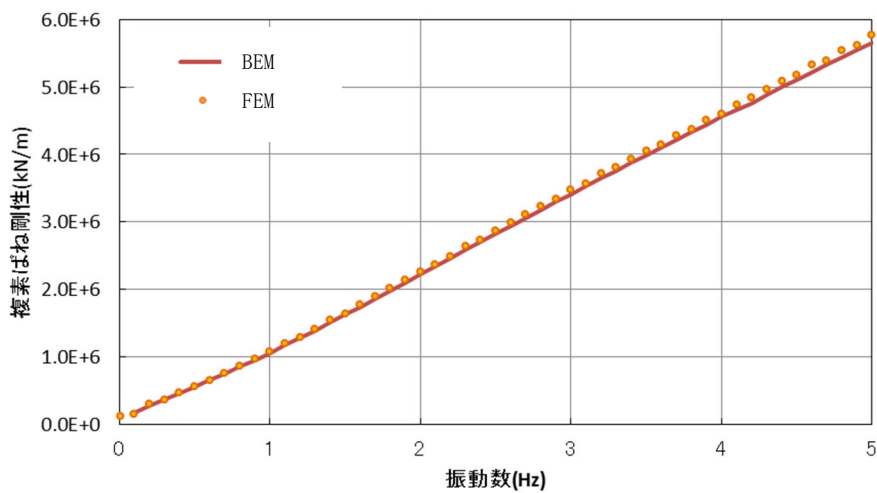


(b) 虚部

第 3.5. 1-5(1/3)図 建屋側面水平動的地盤ばねの比較
(ケース 1, 地盤物性中)

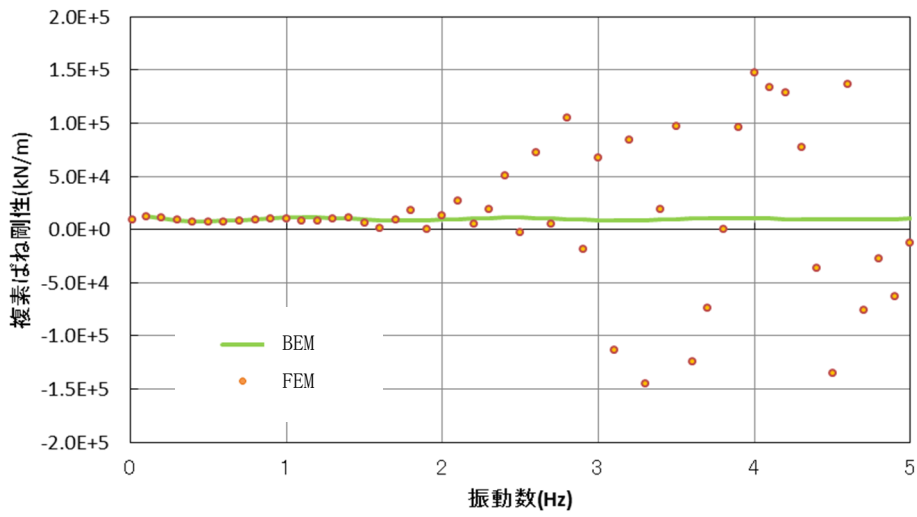


(a) 実部

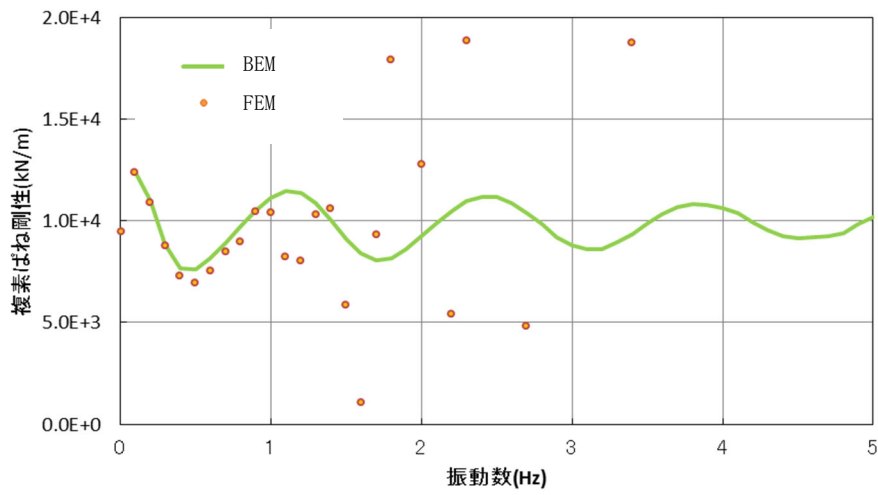


(b) 虚部

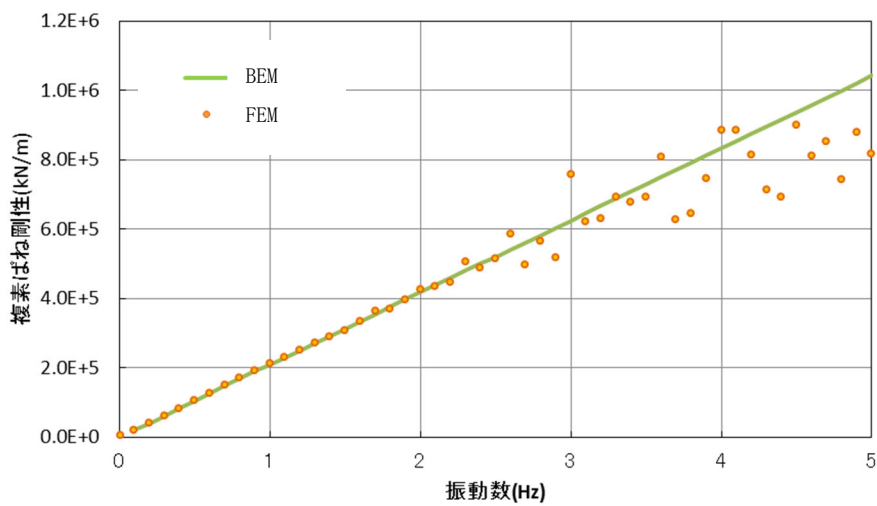
第 3.5.1-5(2/3) 図 建屋側面水平動的地盤ばねの比較
(ケース 2, 地盤物性大)



(a)実部



(b)実部_拡大



(c)虚部

第 3. 5. 1-5(3/3) 図 建屋側面水平動的地盤ばねの比較
(ケース 3, 地盤物性小)

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。

- 本申請における本解析コードの使用目的は側面地盤ばねの算定であることに對し、「3.5.1 検証 (Verification)」に示したとおり、同種の解析について検証を行っていることから、本解析コードを本申請における解析に使用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より、本解析コードを建屋の側面地盤ばねの算定に用いることは妥当である。

別紙 13 NVK463

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-10-1	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋 の地震応答計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

コード名 項目	NVK463
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1985年
使用したバージョン	Ver. 1.0
使用目的	質点系モデルにおける側面地盤ばねの算定
コードの概要	NVK463（以下、「本解析コード」という。）は、Novakの論文*に基づき、水平、上下、回転及びねじれに対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
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"> ・本解析コードによる解析解と実績のあるプログラムによる解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認した。 ・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"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、建屋側面地盤の水平ばねについて実績のあるプログラムによる解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認していることから、本解析コードを本申請における側面地盤ばねの算定に使用することは妥当である。

注記 * : Milos Novak et al. : Dynamic Soil Reaction for Plane Strain Case, Proc. ASCE 104(GT12), pp.953-959, 1978

別紙 14 microSHAKE/3D

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-2-2 -1-1-6- 1	北換気筒の地震応答計算書	Ver. 2.1

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-4-1	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書	Ver. 2.1
IV-2-1-1 -1-5-1	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 2.1
IV-2-1-1 -1-8-1	主排気筒の地震応答計算書	Ver. 2.1
IV-2-1-1 -1-9-1	第1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟の地震応答計算書	Ver. 2.1
IV-2-1-1 -1-11-1	ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 2.1
IV-2-2-2 -1-1-2	出入管理建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2.1
IV-2-2-2 -1-1-15 -1	北換気筒の地震応答計算書	Ver. 2.1
IV-2-4-2 -1-1 別紙2	精製建屋, ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及びウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 2.1
IV-2-4-2 -1-1 別紙6	制御建屋の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 2.1.0.265
IV-5-2-1 -1-4-1	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の基準地震動 S _s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2.1
IV-5-2-1 -1-5-1	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の基準地震動 S _s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2.1

使用添付書類		バージョン
IV-5-2-1 -1-8-1	主排気筒の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2.1
IV-5-2-1 -1-9-1	第1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2.1
IV-5-2-3 -1-2	出入管理建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2.1
IV-5-2-3 -1-11-1	北換気筒の地震応答計算書	Ver. 2.1

2. 解析コードの概要

コード名 項目	microSHAKE/3D
開発機関	株式会社地震工学研究所
開発時期	2000年
使用したバージョン	Ver. 2.1, Ver. 2.1.0.265
使用目的	1次元波動論に基づく入力地震動の策定
コードの概要	<p>microSHAKE/3D（以下、「本解析コード」という。）は、米国カリフォルニア大学から発表されたSHAKEを基本に開発したプログラムで、一次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴応答波形を計算するプログラムである。</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"> ・既工事計画において実績のあるSHAKEによる解析結果と比較して確認している。 ・水平2方向入力時の応力組合せが適切に実行されているかは、本解析コードの解析結果と手計算による評価値を比較して確認している。 ・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"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているもの(Ver. 2.2)と異なるが、バージョンの違いにおいて解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、入力地震動の算定について本解析コードと他コードとの比較を実施し、同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における入力地震動算定に使用することは妥当である。

別紙 15 REFLECT

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-1	前処理建屋の地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-2-1-1 -1-1-3-1	非常用電源建屋の地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-2-1-1 -1-1-4-1	燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-2-1-1 -1-1-9-1	安全冷却水 A 冷却塔基礎の地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-2-1-1 -1-20-1	冷却塔 A, B 基礎の地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-2-2-2 -1-1-3	ウラン脱硝建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2.0
IV-2-2-2 -1-1-4	ウラン酸化物貯蔵建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2.0
IV-2-4-2 -1-1 別紙 1	前処理建屋, 分離建屋, 安全冷却水 A 冷却塔, 使用 済燃料受入れ・貯蔵建屋及び高レベル廃液ガラス固 化建屋の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 2.0
IV-2-4-2 -1-1 別紙 3	非常用電源建屋, 非常用電源燃料タンク基礎及び冷 却塔 A, B の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 2.0
IV-5-2-1 -1-1-1	前処理建屋の基準地震動 S s を 1.2 倍した地震力に 対する地震応答計算書	Ver. 2.0
IV-5-2-3 -1-3	ウラン脱硝建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2.0
IV-5-2-3 -1-4	ウラン酸化物貯蔵建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	REFLECT
開発機関	大成建設株式会社
開発時期	1986 年
使用したバージョン	Ver. 2.0
使用目的	1次元波動論に基づく入力地震動の策定
コードの概要	<p>REFLECT (以下, 「本解析コード」という。) は, 米国カリ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応答波形を算出するプログラムである。</p> <p>日本国内の原子力関連施設等での多くの利用実績がある。</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弾性地盤の増幅特性の解析結果と理論モデルによる理論解を比較し, 解析結果と理論解が一致す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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 九州電力株式会社川内 1 号機の工事計画認可申請において, 本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 • 本申請において使用するバージョンは, 上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 • 上述の検証の内容のとおり, 本申請における使用目的と整合した検証として, 弾性地盤の増幅特性に対して本解析コードと理論解との比較を実施し, 本解析コードが理論解と同等の解を与えることを確認していることから, 本解析コードを本申請における 1次元波動論に基づく入力地震動の策定に使用することは妥当である。

別紙 16 SHAKE

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

耐技 B

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.5 Ver. 1.6.7
IV-2-1-1 -1-2-1	第1非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室の地震応答計算書	Ver. 1.6.7
IV-2-1-1 -1-3-1	安全冷却水系冷却塔 A 基礎の地震応答計算書	Ver. 1.6.6 Ver. 1.6.7
IV-2-1-1 -1-4-1	安全冷却水系冷却塔 B 基礎の地震応答計算書	Ver. 1.6.6 Ver. 1.6.7
IV-2-2-2 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.6.9 Ver. 1.6.13
IV-2-2-2 -1-1-2	使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）の耐震性についての計算書	Ver. 1.6.13
IV-2-2-2 -1-1-3	使用済燃料輸送容器管理建屋（トレーラエリア）の耐震性についての計算書	Ver. 1.6.13
IV-2-4-2 -1-1 別紙2	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋，安全冷却水系冷却塔 A，安全冷却水系冷却塔 B 及び第1非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 1.6.7
IV-5-2-1 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.6.13
IV-5-2-3 -1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.6.13
IV-5-2-3 -1-2	使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）の耐震性についての計算書	Ver. 1.6.13

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-3-1	精製建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.5 Ver. 1.6.7
IV-2-1-1 -1-15-1	第1軽油貯蔵所の地震応答計算書	Ver. 1.6.9
IV-2-1-1 -1-16-1	第2軽油貯蔵所の地震応答計算書	Ver. 1.6.9 Ver. 1.6.13
IV-2-1-1 -1-17-1	第1保管庫・貯水所の地震応答計算書	Ver. 1.6.9
IV-2-1-1 -1-18-1	第2保管庫・貯水所の地震応答計算書	Ver. 1.6.9 Ver. 1.6.13
IV-2-1-1 -1-21-1	緊急時対策建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.9
IV-2-1-1 -1-22-1	重油貯蔵所の地震応答計算書	Ver. 1.6.9
IV-2-4-2 -1-1 別紙7	緊急時対策建屋，第1保管庫・貯水所，第1軽油貯蔵所及び重油貯蔵所の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 1.6.9
IV-5-2-1 -1-3-1	精製建屋の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.6.13
IV-5-2-1 -1-11-1	第1軽油貯蔵所の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.6.13
IV-5-2-1 -1-12-1	第2軽油貯蔵所の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.6.13
IV-5-2-1 -1-13-1	第1保管庫・貯水所の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.6.13
IV-5-2-1 -1-14-1	第2保管庫・貯水所の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.6.13
IV-5-2-3 -1-5	ガラス固化体受入れ建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 1.6.13

2. 解析コードの概要

コード名 項目	SHAKE
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. 1.6.5, 1.6.6, 1.6.7, 1.6.9, 1.6.13
使用目的	1次元波動論に基づく入力地震動の策定
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> 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 (最新公開版は SHAKE-91, 以下、「SHAKE-91」という。) 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。 日本国内の原子力施設の工事計画認可申請において多くの利用実績がある。
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"> 本解析コードによる弾性地盤の増幅特性の解析結果と公開文献*1の理論解を比較し、概ね一致することを確認している。また、他解析コードによる解析結果と概ね一致す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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本原子力発電株式会社東海第二発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているもの (Ver. 1.6.9) と異なるが、バージョンの違いにおいて解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、公開文献*1の理論解による解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認していることから、本解析コードを本申請における入力地震動の策定に使用することは妥当である。

注記 *1：最新耐震構造解析，柴田明德著，231頁，232頁，森北出版株式会社，第3版

別紙 17 SHAKE

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-2-1	分離建屋の地震応答計算書	Ver. 4.0
IV-2-1-1 -1-7-1	高レベル廃液ガラス固化建屋の地震応答計算書	Ver. 4.0
IV-2-1-1 -1-10-1	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書	Ver. 4.0
IV-2-4-2 -1-1 別紙5	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 4.0
IV-5-2-1 -1-2-1	分離建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 4.0
IV-5-2-1 -1-7-1	高レベル廃液ガラス固化建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 4.0

2. 解析コードの概要

コード名 項目	SHAKE
開発機関	清水建設株式会社（オリジナル：カリフォルニア大学）
開発時期	1988年
使用したバージョン	Ver. 4.0
使用目的	1次元波動論に基づく入力地震動の算定
コードの概要	SHAKE（以下、「本解析コード」という。）は、米国カリフォルニア大学から発表されたプログラムに一部改良を加えたもので、一次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴応答波形を計算するプログラムである。
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"> ・SHAKE を用いて評価した弾性地盤の増幅特性が理論解と一致すること及び別コードによる解析結果と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"> ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、地盤の応答解析について理論解及び別コードとの比較を実施し、本解析コードがそれらと同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における入力地震動の算定に用いることは可能である。

3. 解析コードの解析手法について

3.1 一般事項

SHAKE は、米国カリフォルニア大学バークレイ校で Schnabel と Lysmer らにより開発されたプログラム(SHAKE)を基本に開発したプログラムである。SHAKE は、水平方向に半無限に広がりのある、均質、粘弾性のいくつかの層からなる土層でのせん断波の縦方向伝播に対する応答計算を行う。

3.2 解析コードの特徴

SHAKE の主な特徴を以下に示す。

- 一次元重複反射理論に基づき、多層地盤の地震応答解析を行う。
- 地盤の非線形性は、ひずみ依存特性として等価線形法により考慮する。
- 鉛直動については、S 波速度 V_s を P 波速度 V_p として定義することで対応できる。

3.3 解析手法

第 3.3-1 図に示す線形粘弾性体を通過するせん断波の伝播は、水平変位 $u=u(x, t)$ による以下の式で表される。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \cdot \partial t} \quad (3.3-1)$$

ここで、

- ρ : 単位体積質量
- G : せん断弾性係数
- η : 粘性係数

振動数 ω に対し、調和振動は次のように表せる。

$$u(x, t) = U(x) \cdot e^{i\omega t} \quad (3.3-2)$$

(3.3-2) 式は、振動数 ω の調和振動に対する波動方程式の解として与えられる。

$$u(x, t) = E \cdot e^{i(kx + \omega t)} + F \cdot e^{-i(kx + \omega t)} \quad (3.3-3)$$

ここで、右辺第 1 項は上昇波、第 2 項は下降波を示している。また、 k は複素波数と呼ばれ、下式を満足するものである。

$$k^2 = \frac{\rho \omega^2}{G + i\omega \eta} = \frac{\rho \omega^2}{G^*} \quad (3.3-4)$$

ここで、任意の m 層と $(m+1)$ 層の変位とせん断応力の連続性を考え、さらに自由面では $\tau=0$ の境界条件を導入して、次のような関係が得られる。

$$E_m = e_m(\omega) E_1 \quad (3.3-5)$$

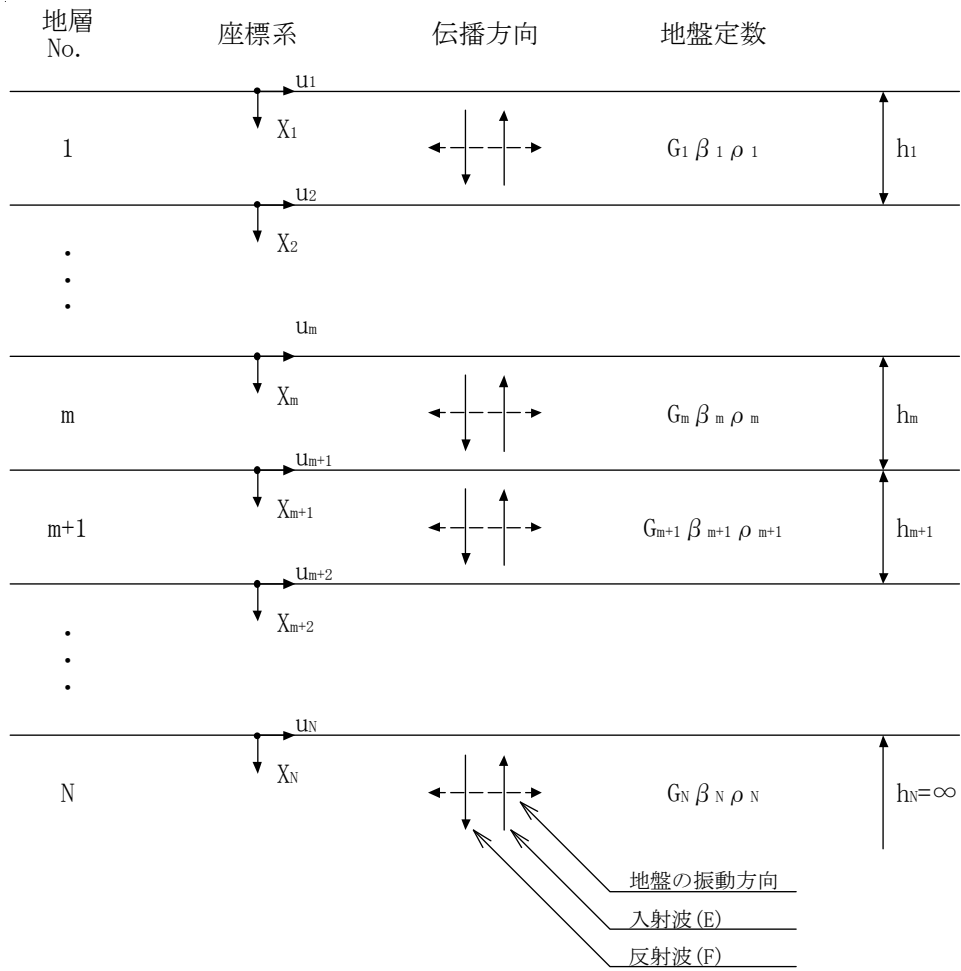
$$F_m = f_m(\omega) F_1 \quad (3.3-6)$$

伝達関数 e_m 及び f_m は、 $E_1=F_1=1$ に対する倍率であり、 $E_1=F_1=1$ を上式に代入することで求まる。

他の伝達関数は、 e_m 及び f_m から得られる。 n 層及び m 層表面での変位を関係付ける伝達関数 $A_{n, m}$ を次のように定義する。

$$A_{n, m}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{e_m(\omega) + f_m(\omega)}{e_n(\omega) + f_n(\omega)} \quad (3.3-7)$$

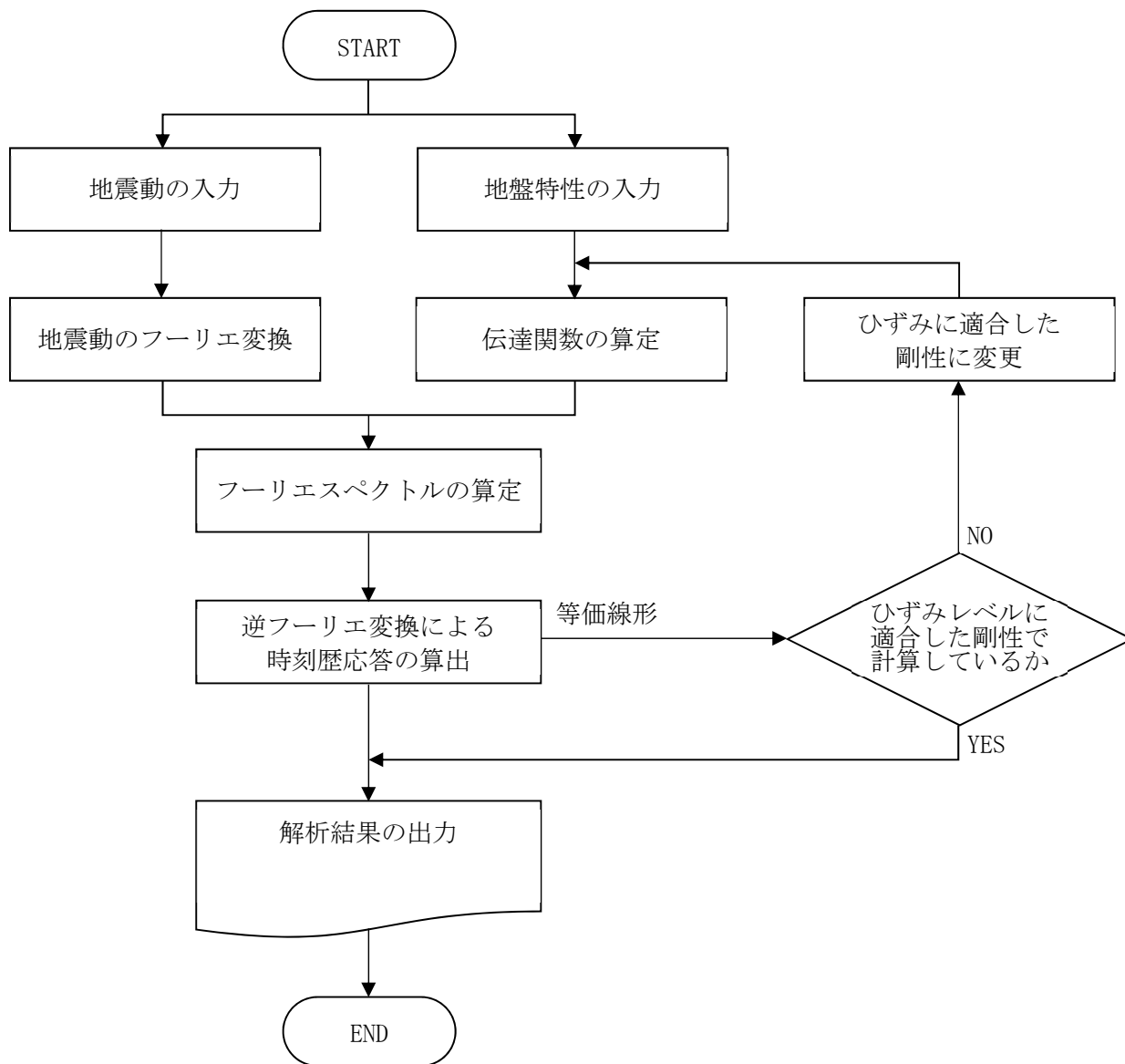
これらの式より、伝達関数 $A(\omega)$ は、系のいかなる 2 つの層の間においても定めることができる。



第 3.3-1 図 1 次元地盤モデル

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを第 3.4-1 図に示す。



第 3.4-1 図 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) 理論解との比較による検証

2層地盤モデルについて、一次元重複反射理論に基づく伝達関数の理論解との比較を行う。比較は第2層上面のはぎとり波(2E₂)に対する地表面波(E₁+F₁)の伝達関数とし、理論解は以下の式で表される。

$$\frac{e_1(\omega) + f_1(\omega)}{2e_2(\omega)} = \frac{1}{\cosh(ikh) + \alpha \sinh(ikh)} \quad (3.5.1-1)$$

ただし、

$$k = \sqrt{\frac{\rho_1}{G_1^*}} \omega$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\rho_1 G_1^*}{\rho_2 G_2^*}}$$

$$G_1^* = \rho_1 V_{S1}^2 (1 - 2\beta_1^2 + 2i\beta_1 \sqrt{1 - \beta_1^2})$$

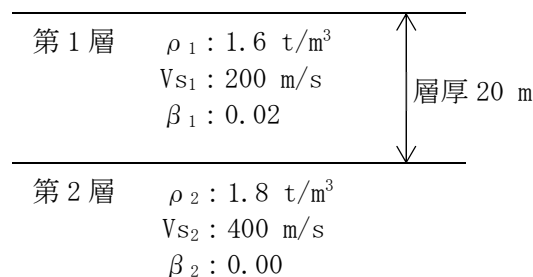
$$G_2^* = \rho_2 V_{S2}^2 (1 - 2\beta_2^2 + 2i\beta_2 \sqrt{1 - \beta_2^2})$$

ここで、

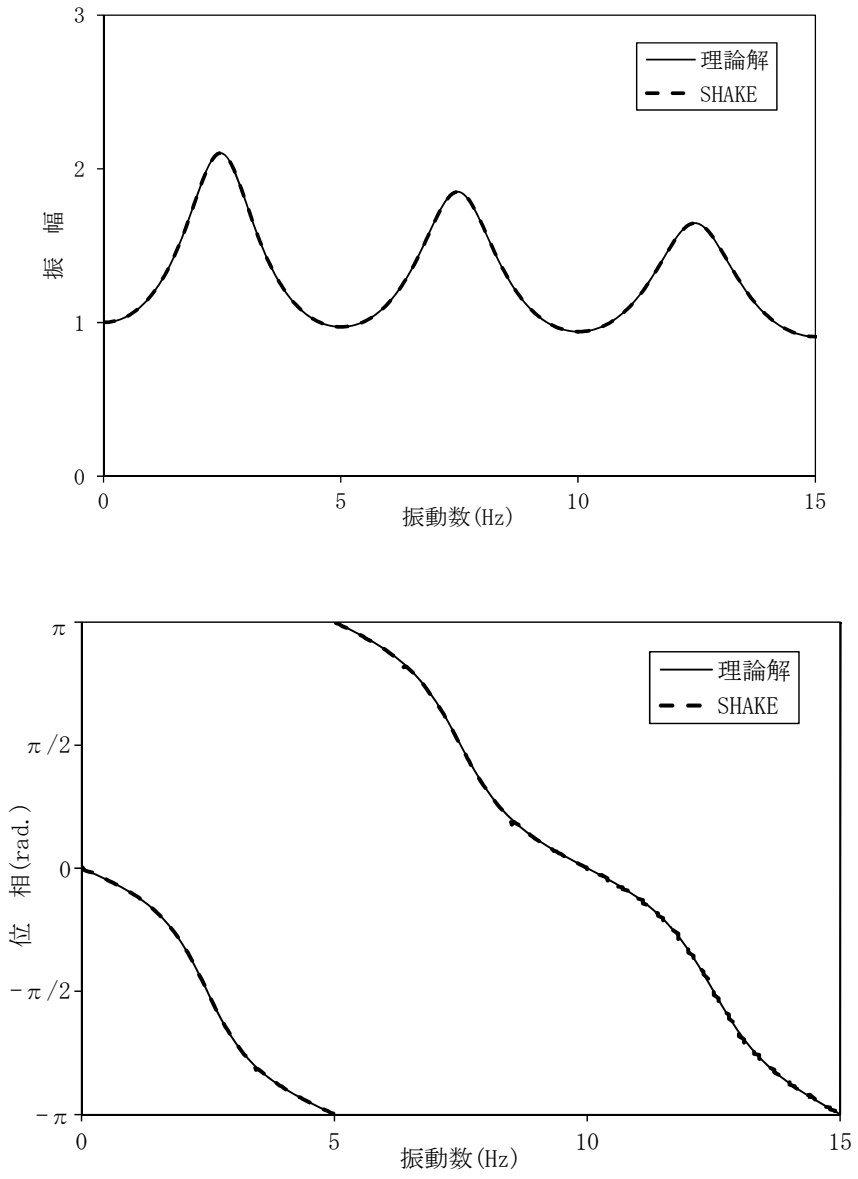
ρ_1, ρ_2	: 第1層, 第2層の単位体積質量
V_{S1}, V_{S2}	: 第1層, 第2層のせん断波速度
h	: 第1層の層厚
β_1, β_2	: 第1層, 第2層の減衰定数

検討地盤モデルを第3.5.1-1図に、伝達関数の比較結果を第3.5.1-2図に示す。

図より、SHAKEの結果は理論解と一致しており、SHAKEが伝達関数を正しく評価していることが確認できる。



第3.5.1-1図 検討地盤モデル



第 3. 5. 1-2 図 理論解との伝達関数の比較

(2) 他コードとの比較による検証

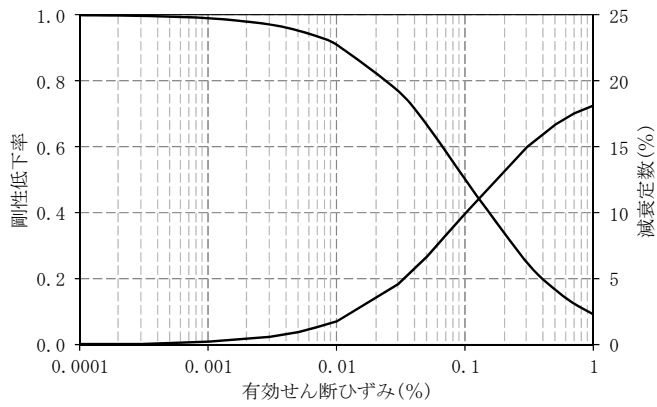
最下層を半無限体とした 3 層地盤モデルについて、市販されている 1 次元地盤の等価線形解析プログラム「microSHAKE/3D ver. 2. 3. 0. 327」（株式会社地震工学研究所）との比較を行う。

検討地盤モデルを第 3. 5. 1-1 表に、ひずみ依存特性を第 3. 5. 1-3 図に、検討に用いる入力地震動(2E 波)を第 3. 5. 1-4 図に、解析結果の比較を第 3. 5. 1-5 図に示す。

図より、SHAKE の結果は microSHAKE による結果と一致していることが確認できる。

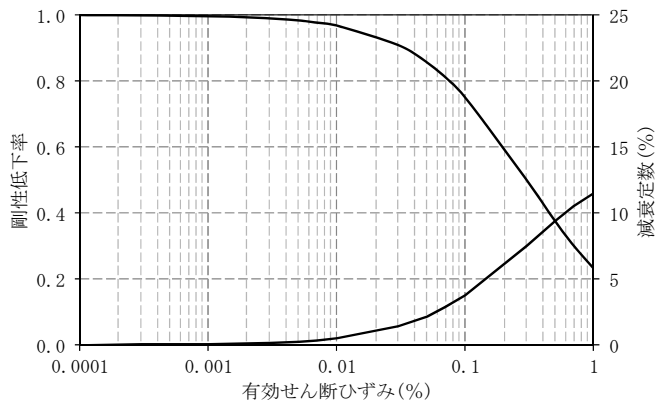
第 3. 5. 1-1 表 検討地盤モデル

標高 (m)	区 分	層厚 (m)	単位体積 質 量 (t/m ³)	せん断波 速 度 (m/s)	減衰定数
0.0	第 1 層	2.0	1.6	200	0.02
		2.0			
		2.0			
		2.0			
		2.0			
		2.0			
		2.0			
		2.0			
		2.0			
		2.0			
-20.0	第 2 層	5.0	1.8	400	0.02
		5.0			
		5.0			
		5.0			
		5.0			
		5.0			
		5.0			
		5.0			
		5.0			
		5.0			
-70.0	基 盤	—	2.0	700	0.00



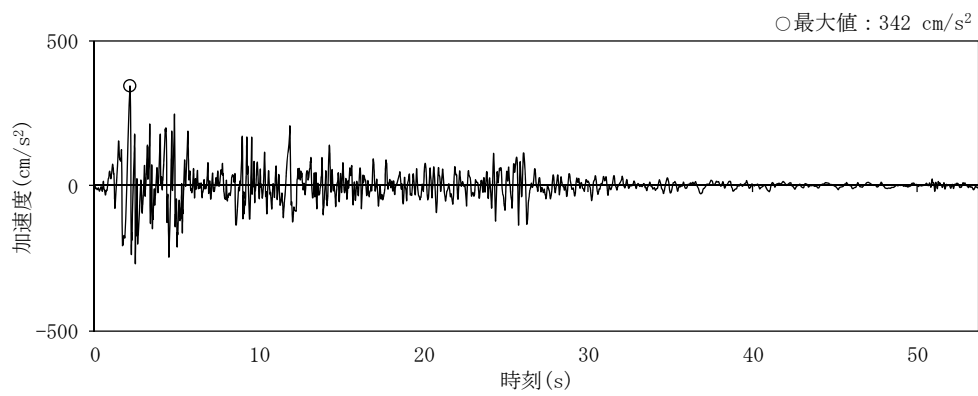
有効せん断ひずみ (%)	剛性低下率	等価減衰定数 (%)
0.0001	0.999	0.02
0.0003	0.997	0.06
0.001	0.990	0.20
0.003	0.971	0.58
0.005	0.952	0.96
0.007	0.935	1.30
0.01	0.909	1.82
0.03	0.769	4.62
0.05	0.667	6.66
0.07	0.588	8.24
0.1	0.500	10.00
0.3	0.250	15.00
0.5	0.167	16.66
0.7	0.125	17.50
1	0.091	18.18

第 3.5.1-3 図 (1/2) ひずみ依存特性 (第 1 層)

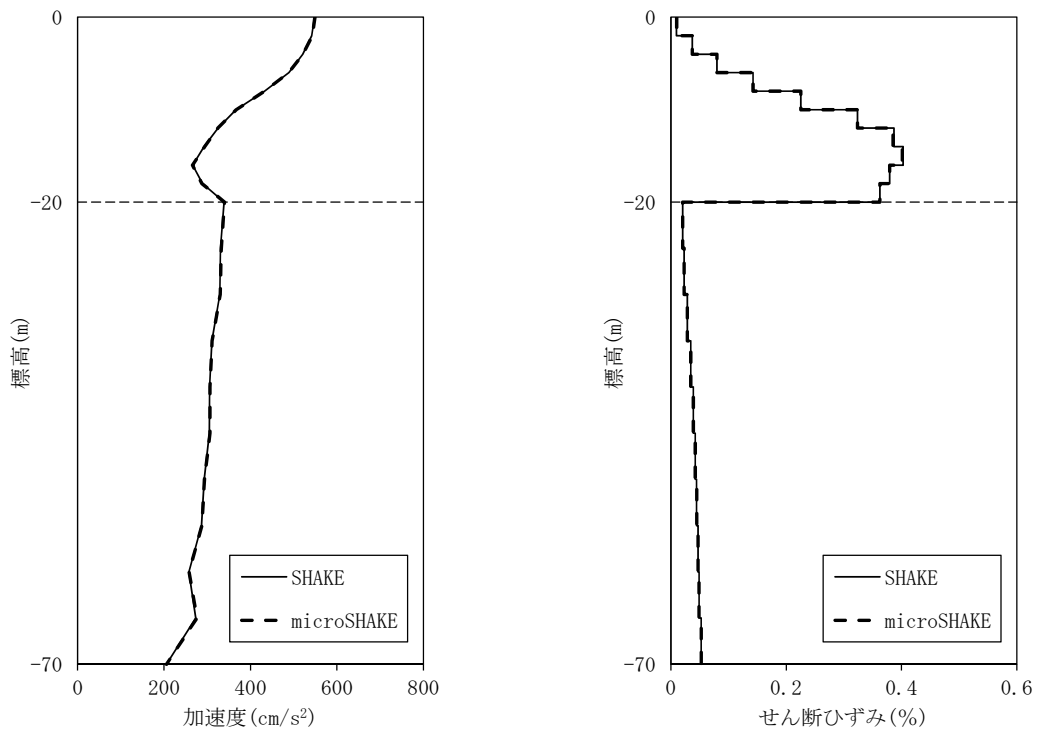


有効せん断ひずみ (%)	剛性低下率	等価減衰定数 (%)
0.0001	1.000	0.00
0.0003	0.999	0.02
0.001	0.997	0.05
0.003	0.990	0.15
0.005	0.984	0.24
0.007	0.977	0.35
0.01	0.968	0.48
0.03	0.909	1.37
0.05	0.857	2.15
0.07	0.811	2.84
0.1	0.750	3.75
0.3	0.500	7.50
0.5	0.375	9.38
0.7	0.300	10.50
1	0.231	11.54

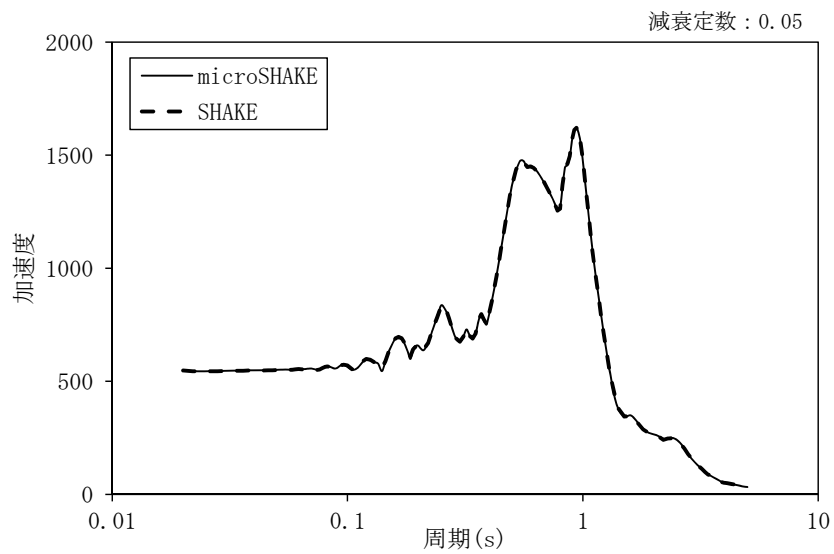
第 3.5.1-3 図 (2/2) ひずみ依存特性 (第 2 層)



第 3.5.1-4 図 入力地震動(2E 波)



(a) 加速度 (b) 有効せん断ひずみ
 第 3.5.1-5 図 (1/2) 解析結果の比較 (最大応答分布)



第 3.5.1-5 図 (2/2) 解析結果の比較 (地表面加速度応答スペクトル)

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。

- 本申請における本解析コードの使用目的は入力地震動の算定であることに対し、「3.5.1 検証 (Verification)」に示したとおり、同種の解析について検証を行っていることから、本解析コードを本申請における解析に使用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より、本解析コードを建物・構築物の入力地震動の算定に用いることは妥当である。

別紙 18 TDAS

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-6-1	制御建屋の地震応答計算書	Ver. 20121030
IV-2-2-2 -1-1-1	分析建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 20121030
IV-2-2-2 -1-1-16	低レベル廃棄物処理建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 20121030
IV-5-2-1 -1-6-1	制御建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 20121030
IV-5-2-3 -1-1	分析建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 20121030

2. 解析コードの概要

項目	コード名
	TDAS
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1988年（使用開始時期）
使用したバージョン	Ver. 20121030
使用目的	質点系モデルによる地震応答解析
コードの概要	<p>TDAS（以下、「本解析コード」という。）は、曲げせん断要素及びばね要素で構成される質点系モデルの固有値解析及び時間領域での建屋基礎の浮上りを考慮した地震応答解析等を行うことができるプログラムである。</p> <p>1次元重複反射理論による地盤の振動解析（SHAKE）に基づき、埋め込みを伴う側面地盤ばね位置に入力する地盤応答を算定することができる。</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"> ・1質点系モデルについて、本解析コードで地震応答解析を行った解析解と、Nigam-Jenningsの理論式による理論解を比較し、解析解と理論解が概ね一致することを確認している。 ・多質点系地震応答解析に対して、発電用原子炉施設の工事計画認可申請において実績のある別コードを用いた解析解と、本解析コードを用いた解析解を比較したベンチマーキングを行った結果、双方の解が概ね一致していることを確認している。 ・弾性地盤における周波数応答解析において、別コードを用いた解析解と、本解析コードを用いた解析解を比較したベンチマーキングを行った結果、双方の解が概ね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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽7号機の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、質点系モデル及び弾性地盤による地震応答解析に対して本解析コードと理論解及び他コードの解析解との比較を実施し、本解析コードが理論解及び他コードと同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における質点系モデルによる地震応答解析に使用することは妥当である。

別紙 19 DAC3N

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-2-1	分離建屋の地震応答計算書	Ver. 97
IV-2-1-1 -1-7-1	高レベル廃液ガラス固化建屋の地震応答計算書	Ver. 97
IV-2-1-1 -1-10-1	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書	Ver. 97
IV-5-2-1 -1-2-1	分離建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 97
IV-5-2-1 -1-7-1	高レベル廃液ガラス固化建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 97

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	DAC3N
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1997 年
使用したバージョン	Ver. 97
使用目的	質点系モデルによる地震応答解析
コードの概要	DAC3N（以下、「本解析コード」という。）は、ばね要素やはり要素などでモデル化された建屋地盤連成系モデルの固有値解析及び地震応答解析を行うプログラムである。
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"> ・本解析コードによる解析解と実績のあるプログラムによる解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認した。 ・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"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、弾塑性を考慮した多質点系の地震応答について実績のあるプログラムによる解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認していることから、本解析コードを本申請における地震応答解析に使用することは妥当である。

別紙 20 KANDYN_2N

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-2-2 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋の耐震性についての計算書	Ver. 4.06 Ver. 5.01
IV-5-2-1 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 4.06
IV-5-2-3 -1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋の耐震性についての計算書	Ver. 5.01

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-3-1	精製建屋の地震応答計算書	Ver. 4.06
IV-2-4-2 -1-1 別紙 7	緊急時対策建屋, 第 1 保管庫・貯水所, 第 1 軽油貯蔵所及び重油貯蔵所の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 5.01
IV-5-2-1 -1-3-1	精製建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 4.06
IV-5-2-3 -1-5	ガラス固化体受入れ建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 5.01

耐技 B

2. 解析コードの概要

コード名 項目	KANDYN_2N
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2005年
使用したバージョン	Ver. 4.06, Ver. 5.01
使用目的	質点系モデルによる地震応答解析
コードの概要	<p>KANDYN_2N（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 FEM を用いる解析計算機コードであり、低接地率時の建屋の浮き上がり挙動等に関する研究において使用実績がある。</p> <p>本解析コードは動荷重（節点加振力、地震入力）を、扱うことができる。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。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> ・本解析コードを用いて、下記①～③を確認している。 <ul style="list-style-type: none"> ①梁要素の弾塑性地震応答解析について、使用実績のある解析コード NUPP4 による解析結果と概ね一致していること。 ②平行成層地盤の側面・底面境界条件自動作成機能を用いた地盤応答が同一深度に同一変位条件を与えた場合の地盤応答結果と合致すること。 ③基礎部の浮上り解析を行い、理論解と言われているグリーン関数法の解析結果と概ね一致していること。 ・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)】</p> <p>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"> ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、質点系モデル及び弾性地盤による地震応答解析に対して本解析コードと理論解及び他コードの解析解との比較を実施し、同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における地震応答解析に使用することは妥当である。

3. 解析コードの解析手法について

3.1 概要

本解析コードは、鹿島建設株式会社で開発した原子力発電所建屋を対象としたプログラムであり、時間領域における質点系はりモデル及び FEM による動的応答解析プログラムである。

3.2 本解析コードの特徴

- (1) 3次元問題を対象として、はり要素、ばね要素、ダンパー要素、ソリッド要素等が用意されており、原子力発電所建屋他の地盤を含めた構造物の動的解析を行うことができる。
- (2) 離散化した構造物－地盤間に非線形地盤ばねを考慮することができ、接地率の小さな構造物の応答計算に使用できる。
- (3) 大規模問題も取り扱うために、入力データが簡素化されている。
- (4) 自由度の拘束方法は、取り扱う問題にあったものを選ぶことができる。

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(a)式で表される。

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

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, 系の粘性減衰はレーリー減衰を用いており, レーリー減衰の定義は以下で表される。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし,

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

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(3)式となる

$$M\{\Delta\ddot{u}\} + C\{\Delta\dot{u}\} + K\{\Delta u\} = -M\{1\}\Delta\alpha \quad \dots\dots\dots (3)$$

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。

$$\begin{aligned} \{\Delta u_{n+1}\} &= \{u_{n+1}\} - \{u_n\} = \Delta t \left(\frac{\{\dot{u}_{n+1}\} + \{\dot{u}_n\}}{2} \right) \\ &= \Delta t \left(\frac{(\{\dot{u}_n\} + \{\Delta\dot{u}_{n+1}\}) + \{\dot{u}_n\}}{2} \right) = \Delta t \left(\{\dot{u}_n\} + \frac{\{\Delta\dot{u}_{n+1}\}}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

$$\{\Delta\dot{u}_{n+1}\} = \Delta t \left(\{\ddot{u}_n\} + \frac{\{\Delta\ddot{u}_{n+1}\}}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

(4)式、(5)式より

$$\{\Delta\dot{u}_{n+1}\} = \frac{2}{\Delta t} \{\Delta u_{n+1}\} - 2\{\dot{u}_n\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\{\Delta\ddot{u}_{n+1}\} = \frac{4}{\Delta t^2} \{\Delta u_{n+1}\} - \frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} - 2\{\ddot{u}_n\} \quad \dots\dots\dots (7)$$

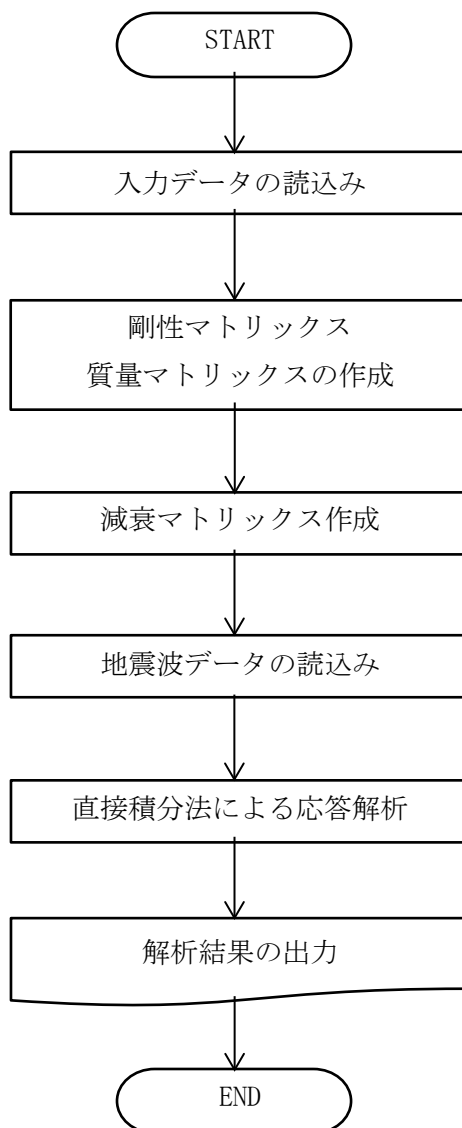
(6)式、(7)式を(3)式に代入し、 $\{\Delta u_{n+1}\}$ に関して解く。

$$\begin{aligned} &M \left(\frac{4}{\Delta t^2} \{\Delta u_{n+1}\} - \frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} - 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C \left(\frac{2}{\Delta t} \{\Delta u_{n+1}\} - 2\{\dot{u}_n\} \right) + K \{\Delta u_{n+1}\} = -M\{1\}\Delta\alpha \\ \Rightarrow &\left(M \frac{4}{\Delta t^2} + C \frac{2}{\Delta t} + K \right) \{\Delta u_{n+1}\} = -M\{1\}\Delta\alpha + M \left(\frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} + 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C(2\{\dot{u}_n\}) \\ \Rightarrow &\{\Delta u_{n+1}\} = \left(M \frac{4}{\Delta t^2} + C \frac{2}{\Delta t} + K \right)^{-1} \left(-M\{1\}\Delta\alpha + M \left(\frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} + 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C(2\{\dot{u}_n\}) \right) \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

(8)式を解くと、n+1ステップの変位増分が得られる。また、(6)式、(7)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。

3.4 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 3.4-1 図に示す。



第 3.4-1 図 解析フローチャート

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

3.5.1 検証(Verification)

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、主に原子力発電所建築物における接地率の小さな場合の研究に使用実績を有しており、解析機能全般について十分な妥当性が確認されている。

こうした特徴を踏まえ、今回の解析機能に特化する形で、下記3項目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ている。

- ①梁要素の弾塑性地震応答解析
- ②平行成層地盤の側面・底面境界条件自動作成の妥当性検証
- ③基礎部の浮上り非線形解析

(1) 梁要素の弾塑性地震応答解析

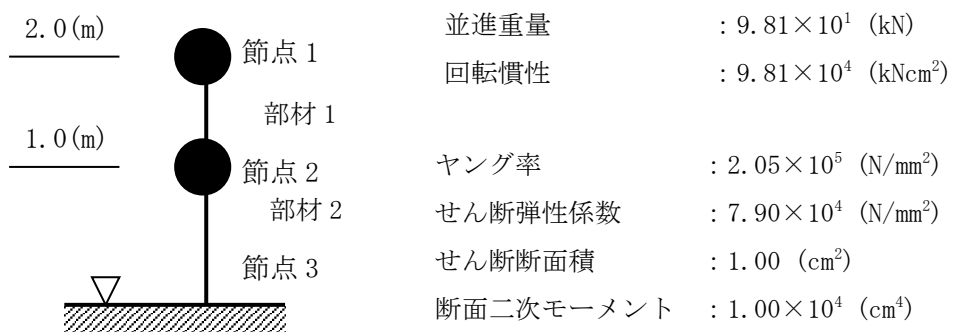
a. 検証方法

本解析コードによる梁要素の弾塑性地震応答解析を行い、既存原子力発電所への使用実績の豊富な検証済の解析コード NUPP4 による解析結果とほぼ一致することを確認する。

b. 解析条件

(a) 解析モデル

検証を行う解析モデルを第 3.5.1-1 図に示す。各質点に並進自由度と回転自由度を有する基礎固定の2質点系モデルとする。



第 3.5.1-1 図 解析モデル

(b) 固有値解析結果

検証済解析コード NUPP4 を用いた固有値解析結果を第 3.5.1-1 表に示す。減衰行列は初期剛性比例の内部粘性減衰で、1次周期 0.43 秒に対して全部材に一律 $h=0.02$ を与える。

第 3.5.1-1 表 固有値解析結果

次数	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	刺激係数
			X 方向
1 次	0.43	2.32	1.18
2 次	0.15	6.58	-0.22
3 次	0.06	17.64	-0.11
4 次	0.03	37.44	-0.05

(c) 非線形履歴モデル

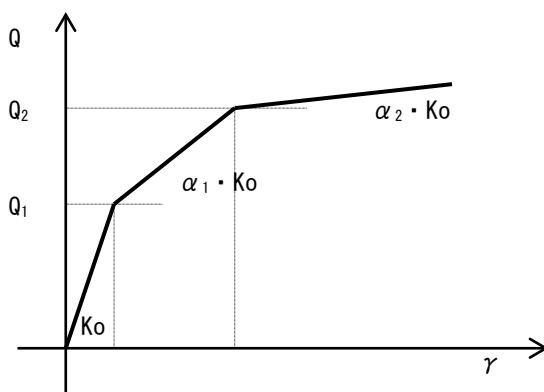
梁部材の非線形履歴モデルは、JEAG4601-1991 のモデルを用いる。骨格曲線のパラメータを第 3.5.1-2 表及び第 3.5.1-2 図並びに第 3.5.1-3 表及び第 3.5.1-3 図に示す。

第 3.5.1-2 表 骨格曲線のパラメータ (せん断非線形特性)

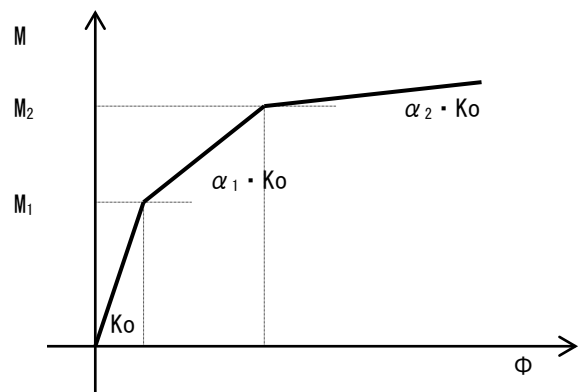
	Q_1 (kN)	Q_2 (kN)	α_1	α_2
部材 1 (質点 1~2)	75.0	90.0	0.50	0.05
部材 2 (質点 2~3)	110.0	140.0	0.50	0.05

第 3.5.1-3 表 骨格曲線のパラメータ (曲げ非線形特性)

	M_1 (kNm)	M_2 (kNm)	α_1	α_2
部材 1 (質点 1~2)	80.0	100.0	0.20	0.05
部材 2 (質点 2~3)	200.0	250.0	0.20	0.05



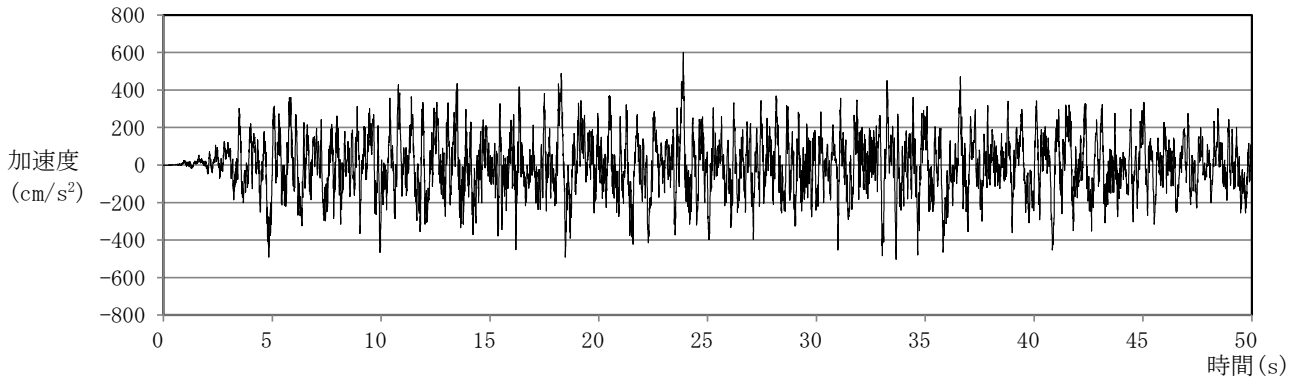
第 3.5.1-2 図 せん断非線形特性



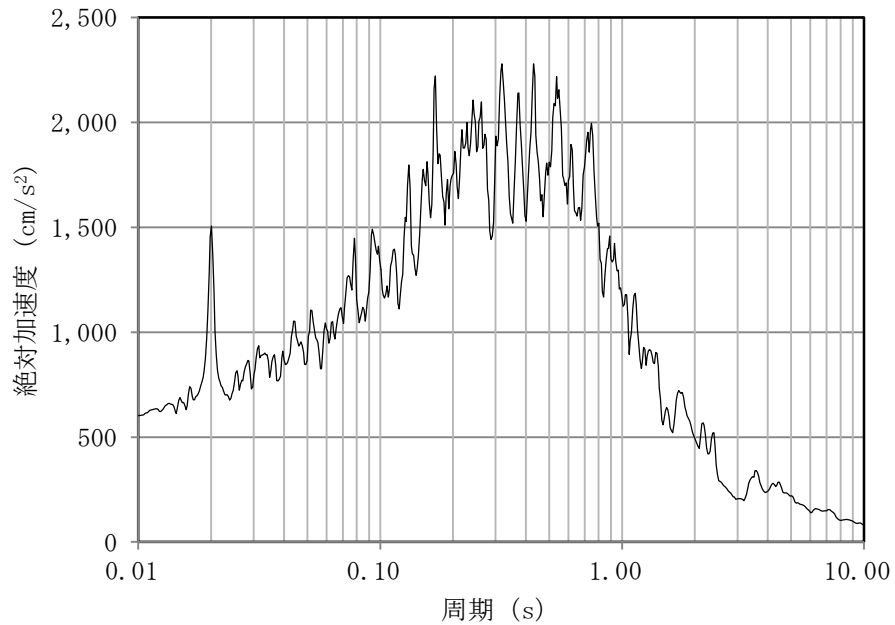
第 3.5.1-3 図 曲げ非線形特性

(d) 入力地震動

入力地震動は国土交通省告示波（RANDOM-B）で，継続時間は先頭から 50 秒とし，最大加速度を 500cm/s^2 に規準化して入力する。第 3.5.1-4 図に加速度時刻歴波形，第 3.5.1-5 図に絶対加速度応答スペクトルを示す。時間刻みは原波刻み（ $dt=0.01\text{sec}$ ）を 10 分割する。



第 3.5.1-4 図 原波の加速度時刻歴波形



第 3.5.1-5 図 原波の加速度応答スペクトル ($h=0.02$)

c. 検証結果

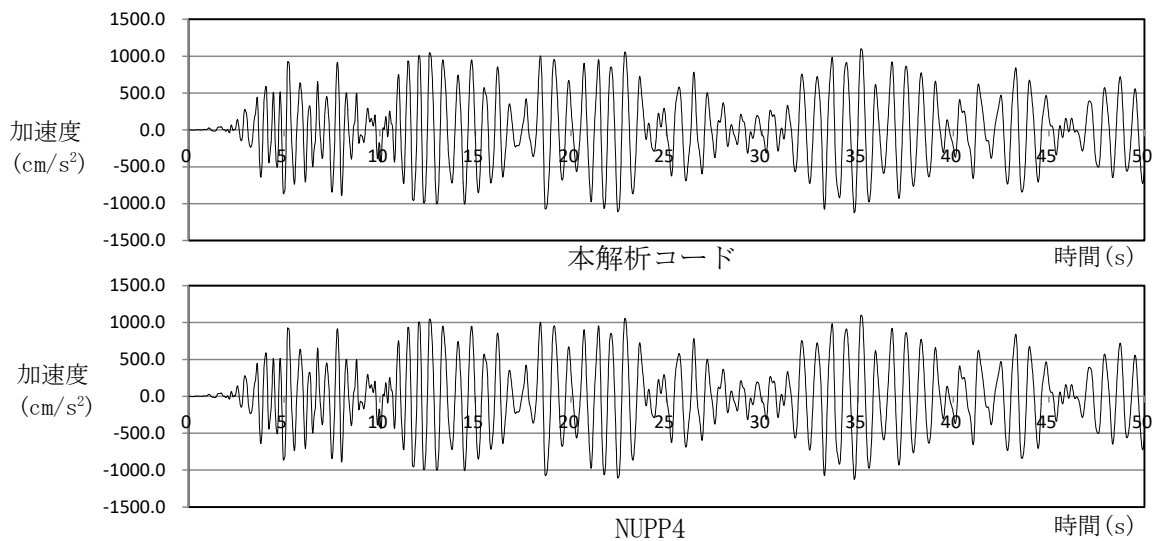
本解析コードと NUPP4 により地震応答解析を実施した。

最大応答値を第 3.5.1-4 表に示す。また、質点 1 の加速度応答波形を第 3.5.1-6 図、部材 1 の履歴曲線を第 3.5.1-7 及び第 3.5.1-8 図に示す。

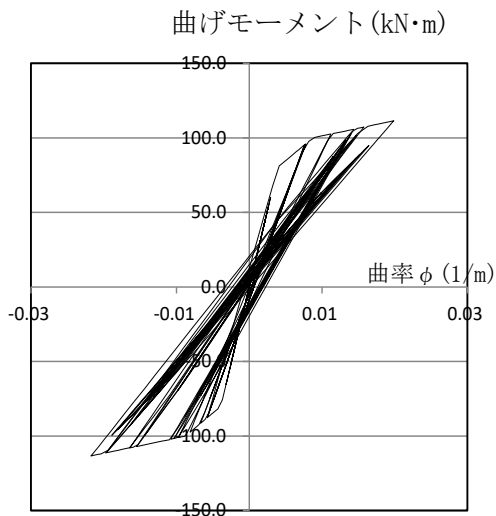
これらの結果は、全て一致している。

第 3.5.1-4 表 最大応答値

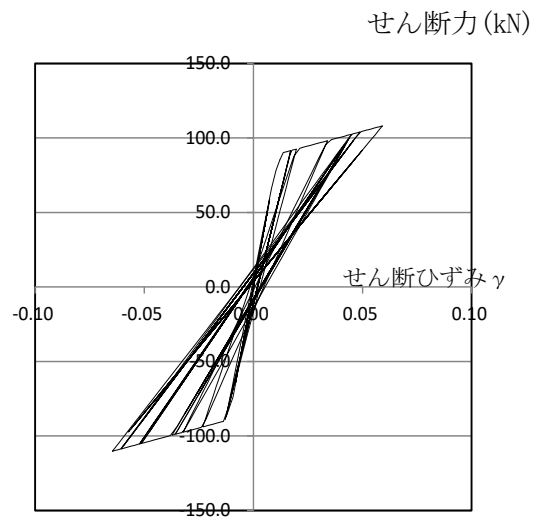
項目	位置	本解析コード	NUPP4
最大加速度 (cm/sec^2)	節点 1	1125.5	1125.5
	節点 2	734.64	734.64
せん断力 (kN)	部材 1	110.3	110.3
	部材 2	162.2	162.2
せん断ひずみ (10^{-2})	部材 1	6.464	6.464
	部材 2	7.769	7.769
せん断塑性率	部材 1	4.863	4.863
	部材 2	3.610	3.610
曲げモーメント (下端) (kNm)	部材 1	113.4	113.4
	部材 2	276.5	276.5
曲率 (下端) (10^{-2})	部材 1	2.177	2.177
	部材 2	4.693	4.693
曲げ塑性率	部材 1	2.480	2.480
	部材 2	2.138	2.138



第 3.5.1-6 図 質点 1 の加速度応答波形

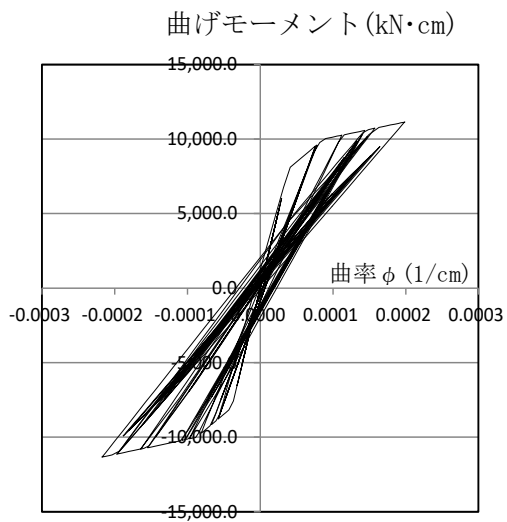


曲げモーメントー曲率関係

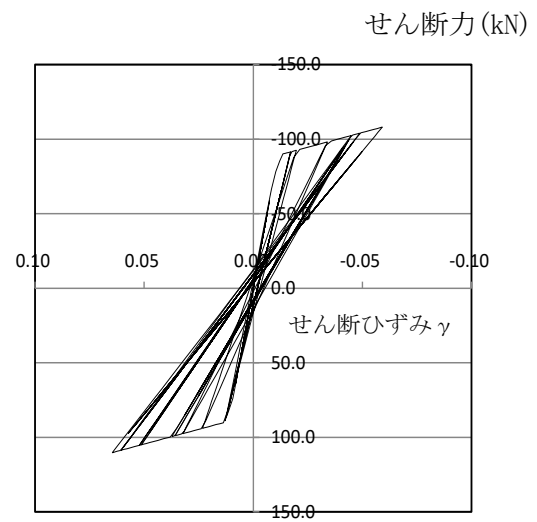


せん断力ーせん断ひずみ関係

第 3. 5. 1-7 図 部材 1 の応答履歴曲線 (本解析コード)



曲げモーメントー曲率関係



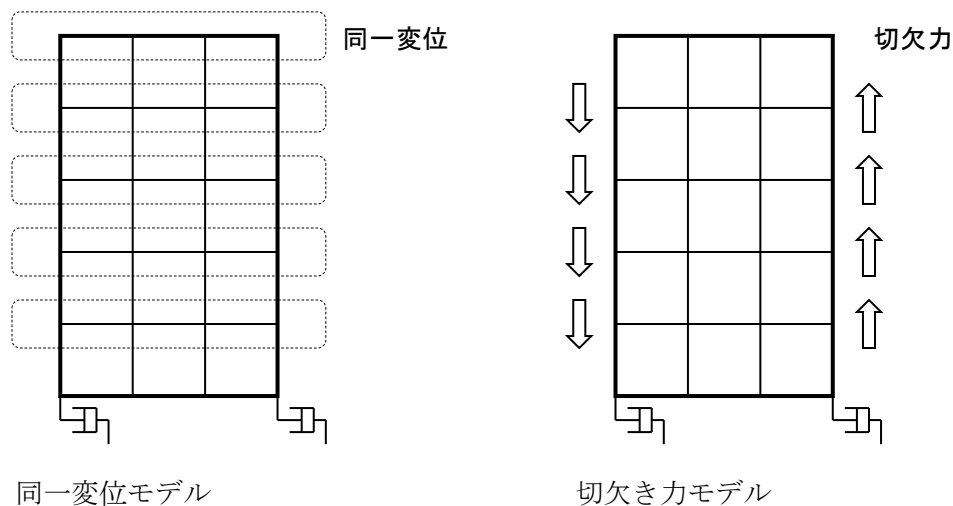
せん断力ーせん断ひずみ関係

第 3. 5. 1-8 図 部材 1 の応答履歴曲線 (NUPP4)

(2) 平行成層地盤の側面・底面境界条件自動作成の妥当性検証

a. 検証方法

半無限の成層地盤をモデル化した場合、解析モデルの同一深度の節点は、各方向に同一に変位する。そこで、本解析コードにより各節点に同一変位条件を与えたモデルによる解析結果と切欠き力を与えたモデル（平行成層地盤の側面・底面境界条件自動作成）の結果を比較する。（第 3.5.1-9 図参照）



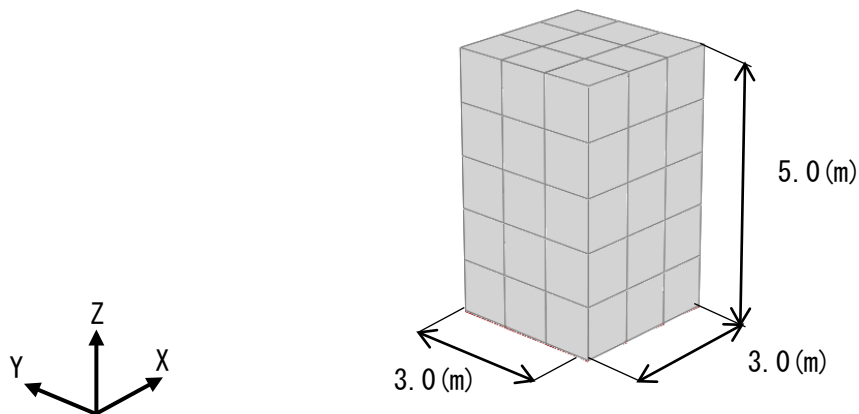
第 3.5.1-9 図 検討方法の概要

b. 解析条件

(a) 解析モデル

検証を行う解析モデルを第 3.5.1-10 図に示す。各辺 3.0m、高さ 5.0m の領域をモデル化する。地盤モデルの側面及び底面は 3 方向ともに粘性境界とする。

地盤モデル及びモデル底面以深の物性は均一とし、各々の材料物性を第 3.5.1-5 表に示す。なお、地盤モデルの減衰は、周期 0.1 秒に対する剛性比例減衰を仮定する。



第 3.5.1-10 図 検証に用いる解析モデル

第 3.5.1-5 表 材料物性

	ヤング係数 (N/mm ²)	せん断弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン 比	単位体積重量 (kN/m ³)
地盤モデル	343.1	117.5	0.46	20.0
モデル底面以深	—	—	—	20.6

	Vs (m/s)	Vp (m/s)	h
地盤モデル	240.0	881.9	0.05
モデル底面以深	500.0	1380.0	—

(b) 入力地震動

入力地震波は EL_CENTRO(NS) とし、最大加速度を第 3.5.1-6 表の値に規準化したものを、底面粘性境界外側から入力する。時間刻みは、原波の時間刻みを 2 分割し 0.01 秒とする。

第 3.5.1-6 表 入力地震波の最大加速度

X 方向	300 cm/s ²
Y 方向	200 cm/s ²
Z 方向	100 cm/s ²

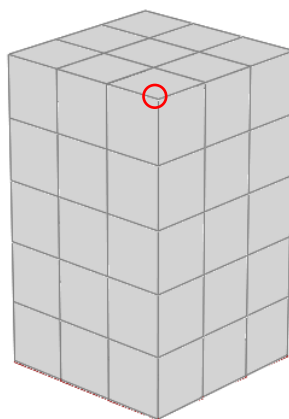
(c) 検討ケース

切欠き力を与えたモデルについては、X 方向、Y 方向、Z 方向にそれぞれ入力した場合と 3 方向同時に入力した場合の 4 ケース、同一変位モデルについては、3 方向同時に入力したケースとする。

c. 検証結果

第 3.5.1-11 図に示す位置の最大応答値及び応答加速度波形を，第 3.5.1-7 表及び第 3.5.1-12 図～第 3.5.1-14 図に示す。

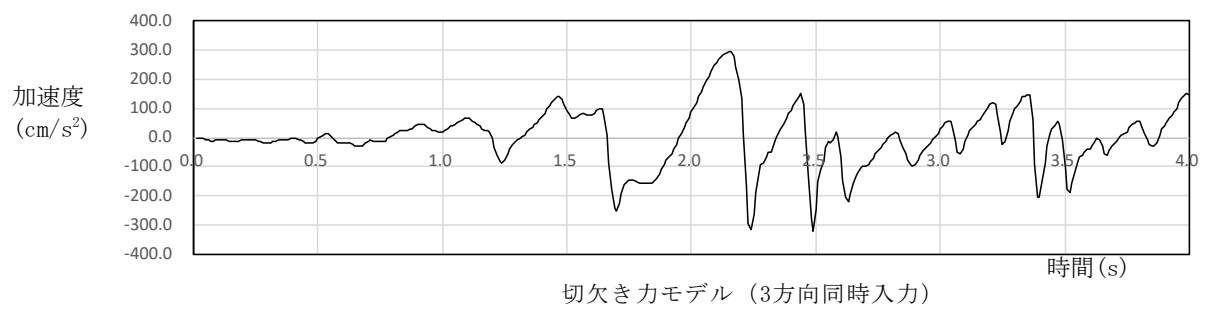
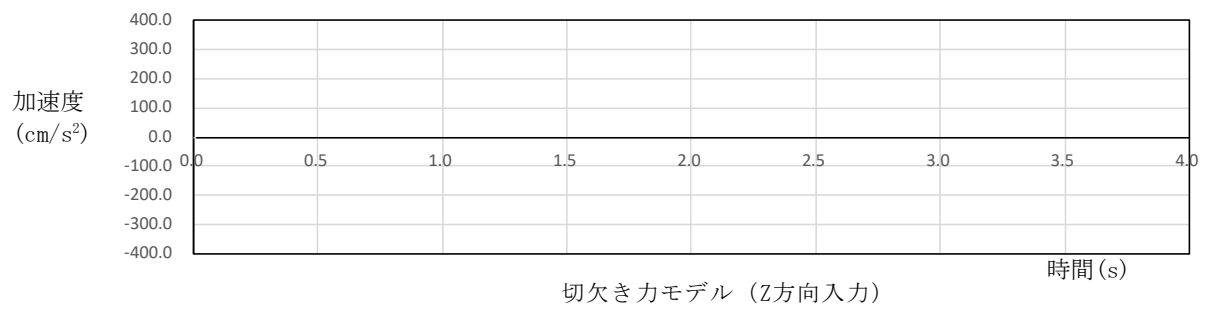
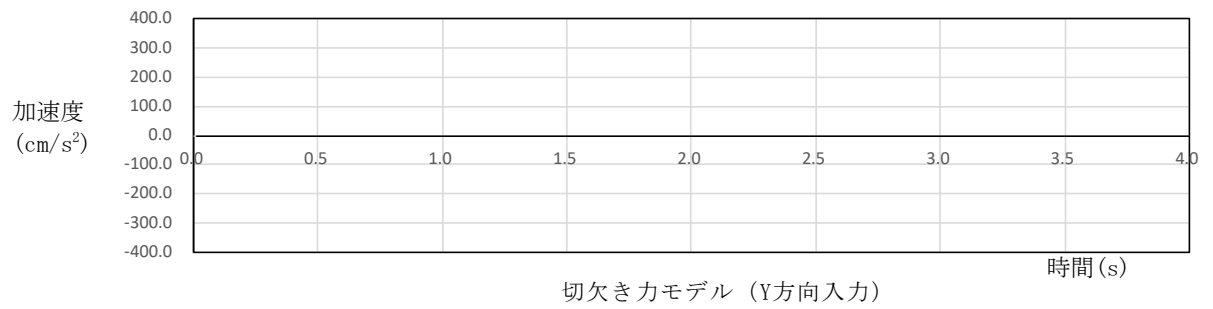
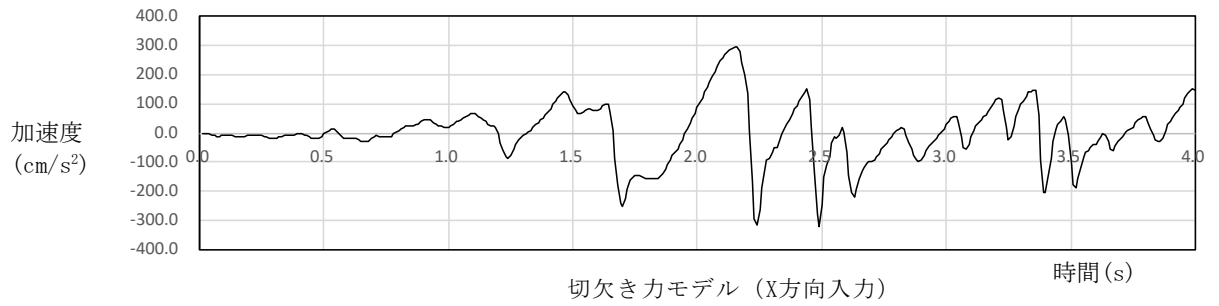
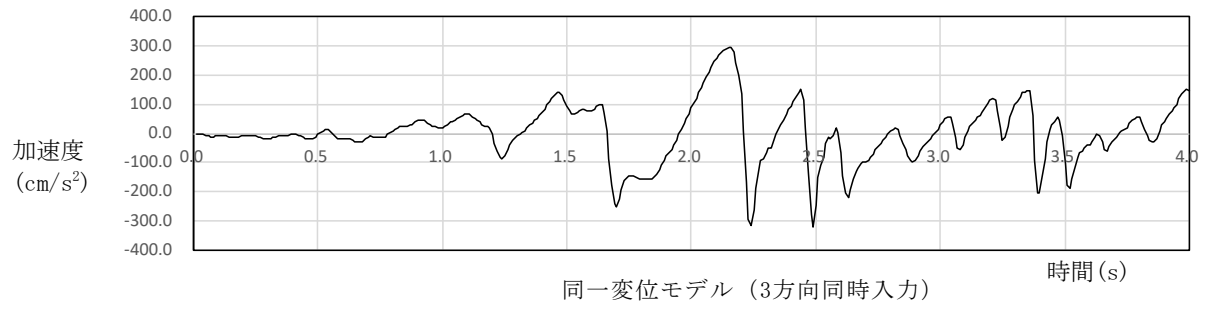
第 3.5.1-7 表によれば，切欠き力モデルの応答加速度は入力方向に対してのみ発生しており，その最大値は同一変位モデルと一致している。また，第 3.5.1-12 図～第 3.5.1-14 図の応答加速度波形を比較すると，切欠き力モデルと同一変位モデルは対応している。



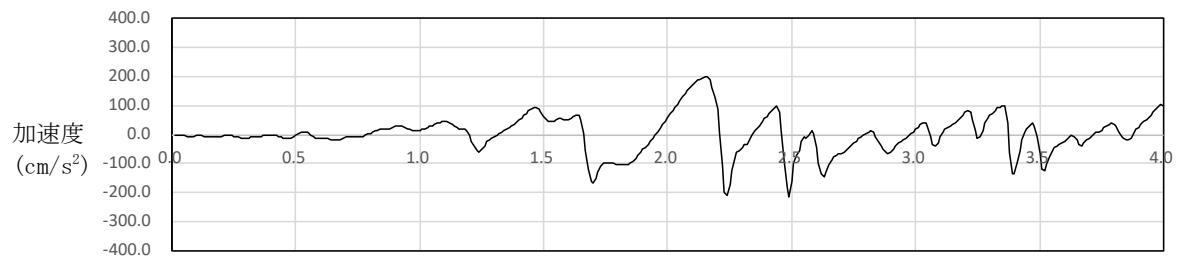
第 3.5.1-11 図 応答比較位置

第 3.5.1-7 表 応答最大値

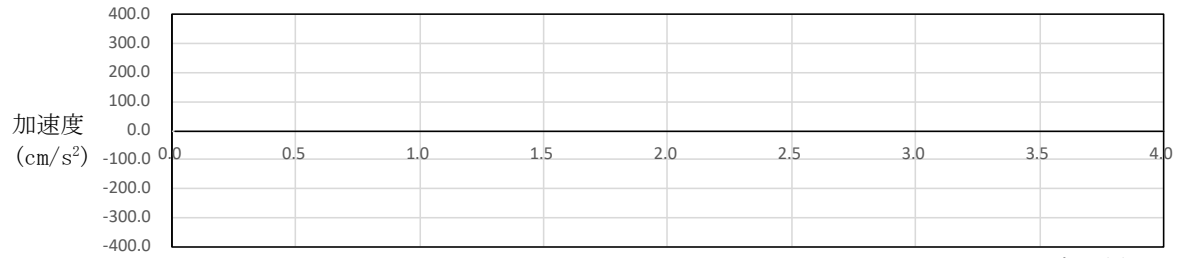
		同一変位モデル	切欠き力モデル			
		3 方向同時入力	X 方向入力	Y 方向入力	Z 方向入力	3 方向同時入力
X 方向	加速度 (cm/s ²)	-321.7	-321.7	0	0	-321.7
	速度 (cm/s)	4.36	4.36	0	0	4.36
	変位 (cm)	-0.36	-0.36	0	0	-0.36
Y 方向	加速度 (cm/s ²)	-214.5	0	-214.5	0	-214.5
	速度 (cm/s)	2.91	0	2.91	0	2.91
	変位 (cm)	-0.24	0	-0.24	0	-0.24
Z 方向	加速度 (cm/s ²)	98.89	0	0	98.89	98.89
	速度 (cm/s)	-0.35	0	0	-0.35	-0.35
	変位 (cm)	-0.04	0	0	-0.04	-0.04



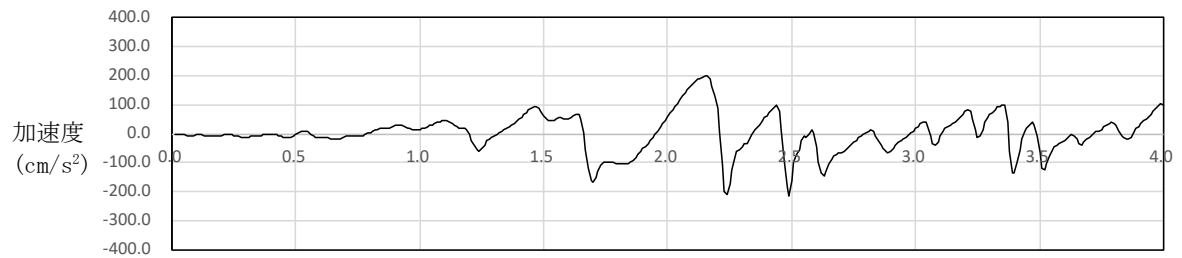
第 3.5.1-12 図 X方向応答加速度波形



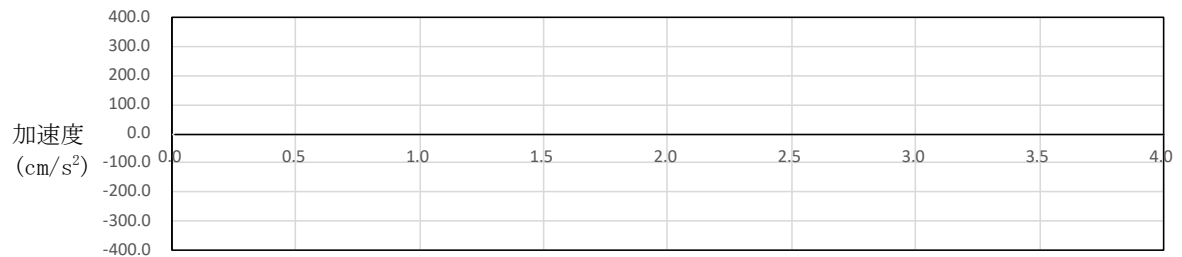
同一変位モデル (3方向同時入力) 時間 (s)



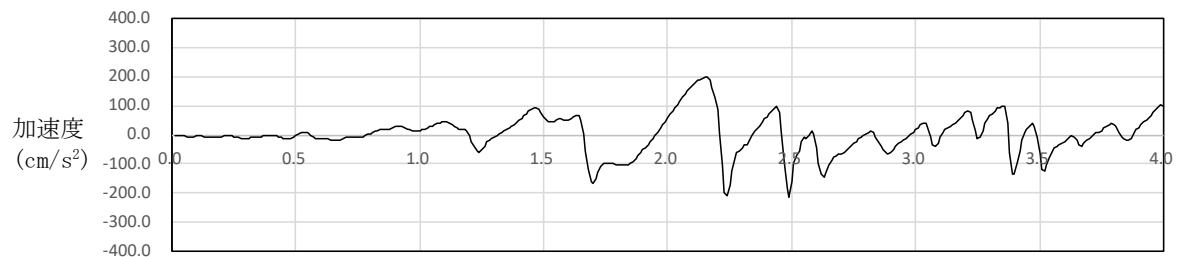
切欠き力モデル (X方向入力) 時間 (s)



切欠き力モデル (Y方向入力) 時間 (s)

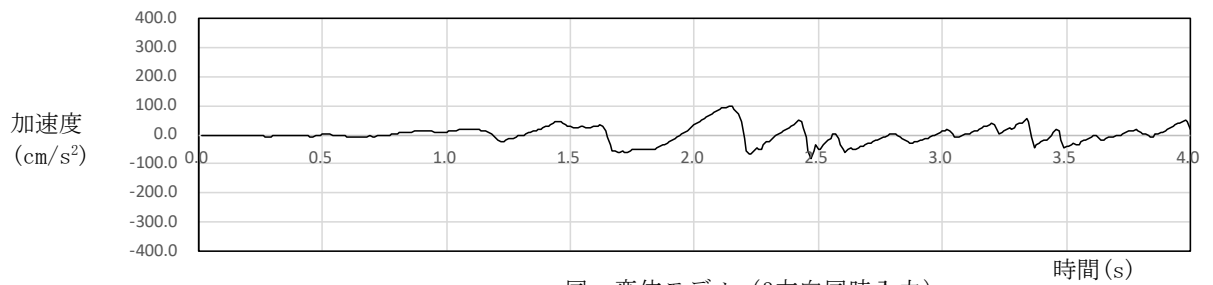


切欠き力モデル (Z方向入力) 時間 (s)

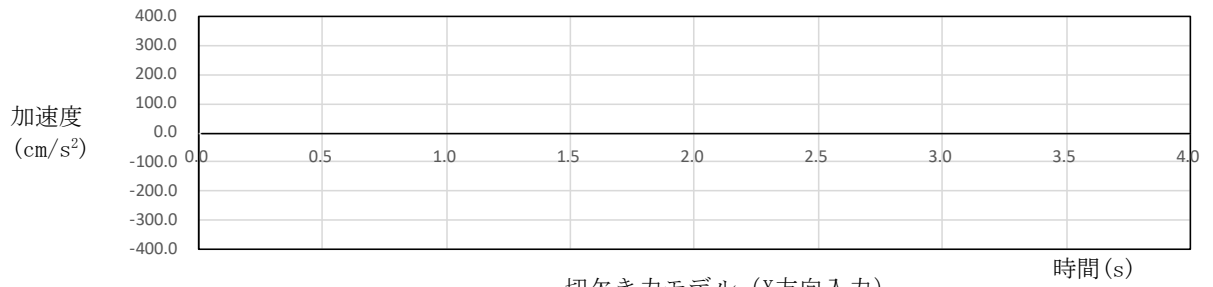


切欠き力モデル (3方向同時入力) 時間 (s)

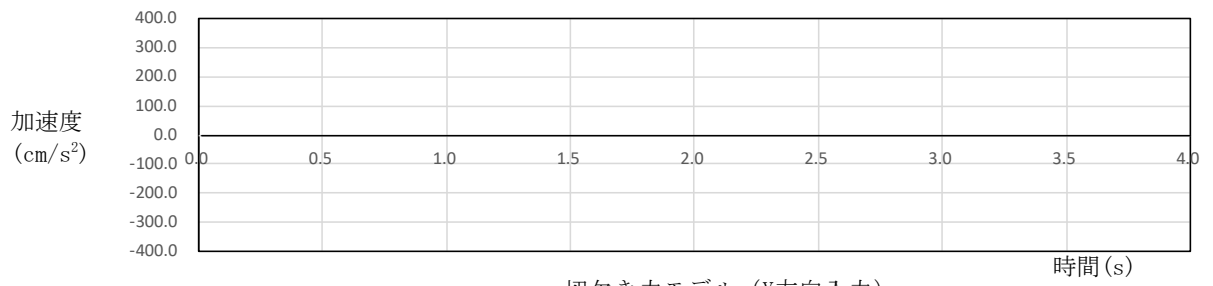
第 3. 5. 1-13 図 Y 方向応答加速度波形



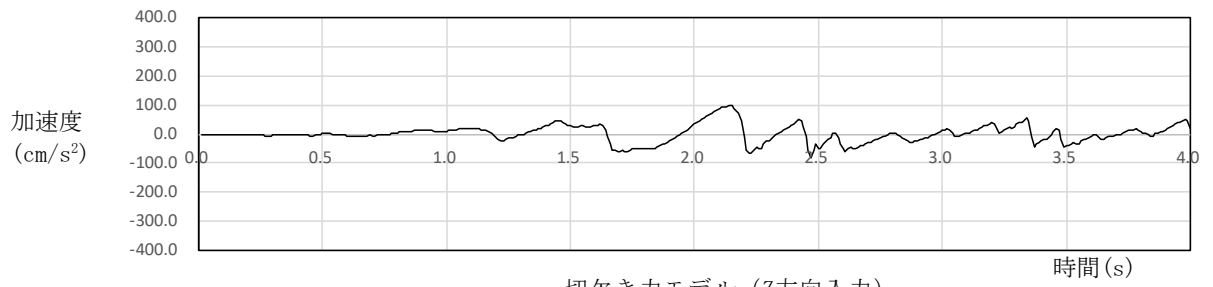
同一変位モデル (3方向同時入力)



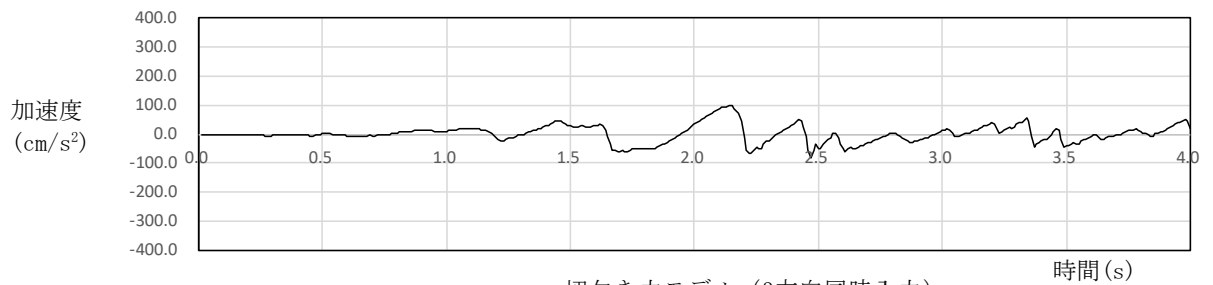
切欠き力モデル (X方向入力)



切欠き力モデル (Y方向入力)



切欠き力モデル (Z方向入力)



切欠き力モデル (3方向同時入力)

第 3.5.1-14 図 Z 方向応答加速度波形

(3) 浮上り非線形解析 (1 方向ばねの非線形特性)

a. 検証方法

本解析コードによる基礎部の浮上り解析 (1 方向非線形ばね) を行い, 時間領域のグリーン関数法*1の解析結果とほぼ一致していることを確認する。

(なお, 本結果は文献*2の結果を示したもので, 地盤ばねを行列評価したモデル (以下, 拡張 SR モデルという) の解析結果も参考として合わせて示す。)

b. 解析条件

(a) 解析モデル

本解析コードで検証を行う地盤 3 次元 FEM の解析モデルを第 3.5.1-15 図に示す。建物部は基礎と建屋の 2 質点の弾性モデルとし, 基礎下に地盤をソリッド要素とした 3 次元 FEM モデルである。

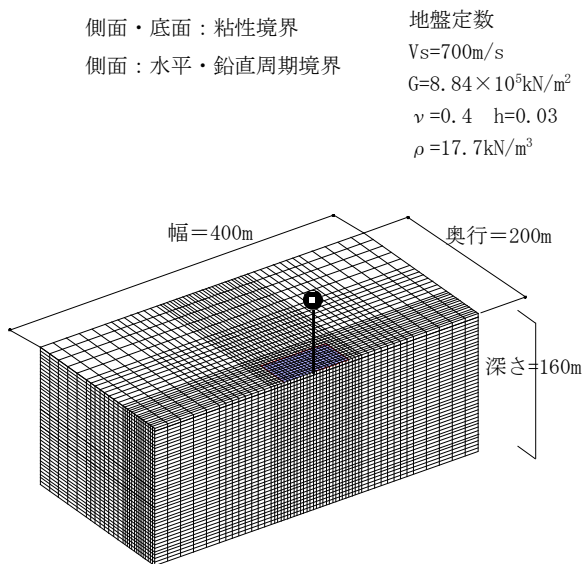
建屋諸元を第 3.5.1-16 図に示す。(参考に拡張 SR モデルも示している)

なお, 比較に用いるグリーン関数法では基礎を縦横とも 20 分割したもので建屋諸元は同じである。

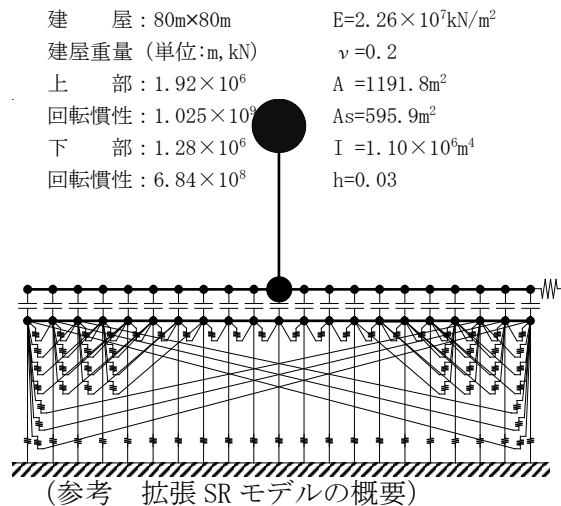
また, 地盤 3 次元 FEM (及び拡張 SR モデル) では離散化した基礎版と地盤間には常時軸力を越えると剥離する非線形軸ばね要素を設けている。

注記 *1 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAG4601-2008 参考資料 3.5 日本電気協会

*2 藪内耕一他, 日本建築学会 第 38 回情報・システム・利用シンポジウム, マトリックス地盤ばねを用いた SR モデルの検討, 2015 年 12 月



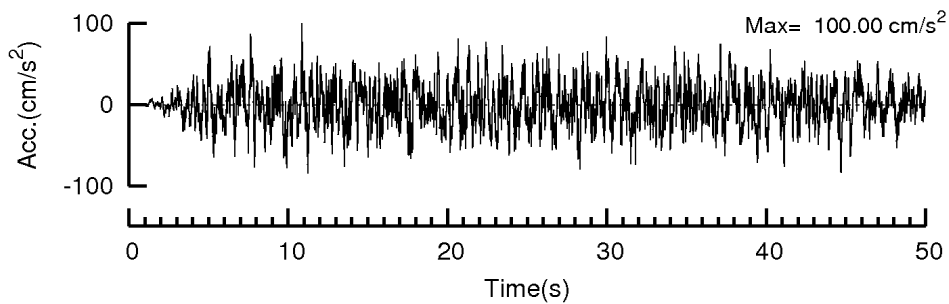
第 3.5.1-15 図 解析モデル



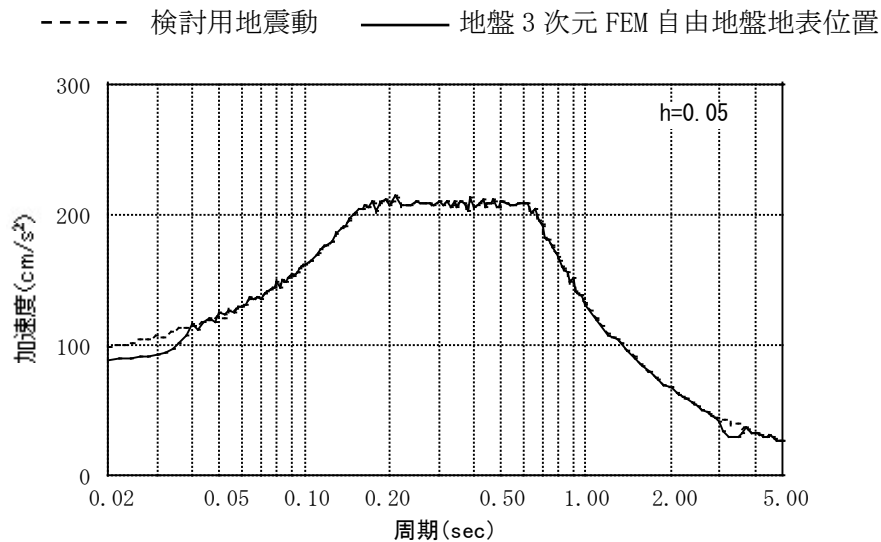
第 3.5.1-16 図 建屋諸元

(b) 入力地震動

ランダム位相で作成した国土交通省告示の極めて稀に発生する地震動に適合した模擬地震波を作成し、地震開始から主要動の50sを解析区間とする。入力加速度のレベルに合わせ係数倍して $800\text{cm/s}^2 \sim 2000\text{cm/s}^2$ まで用いる。 100cm/s^2 で規準化した入力動の加速度波形を第3.5.1-17図に示す。なお3次元FEMに用いる地震動は、地表において定義された入力動を解析モデル基盤(G.L. -160m)へ引き下げた地震波(30Hz以上をカット)とし、モデル下端に入力する。地表位置で入力動の再現性を確認した加速度応答波のスペクトルを第3.5.1-18図に示す。



第3.5.1-17図 規準化した入力波の時刻歴波形



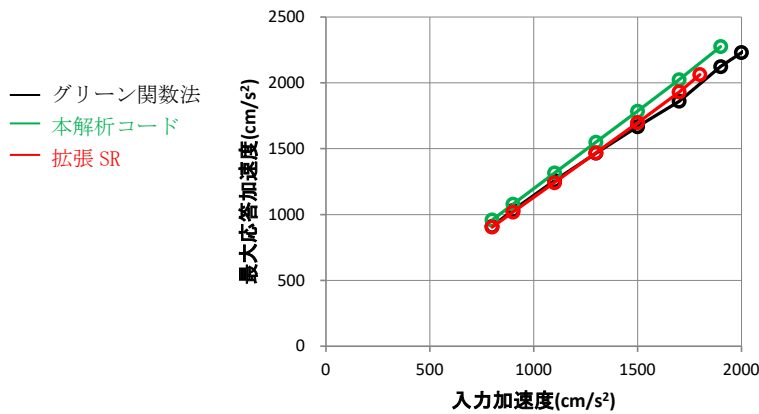
第3.5.1-18図 検討に用いる入力波加速度応答スペクトル

c. 検証結果

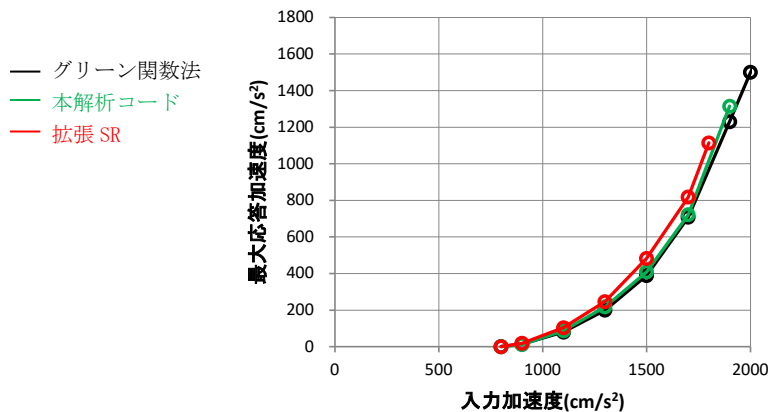
本解析コードとグリーン関数法により基礎浮上り地震応答解析を実施した。
 (文献*2の図表を転記しているため拡張SRモデルの結果も含む)

入力加速度に対する建屋応答最大水平加速度を第3.5.1-19図、建屋応答最大鉛直加速度を第3.5.1-20図、最小接地率を第3.5.1-21図に示す。また、1700cm/s²入力時の3モデルの接地率の経時変化を第3.5.1-22図示す。

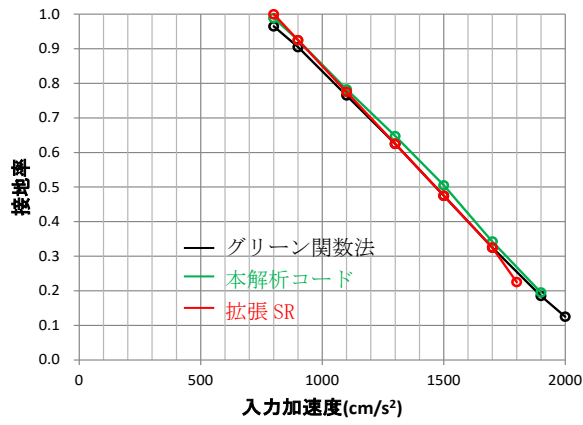
これらより、最大水平応答加速度は、3モデルとも800cm/s²~1900cm/s²入力に対し直線的に増加しており、モデル間での応答の差は小さい。最大鉛直応答加速度は、入力の増加により下に凸状に増加しているがモデル間での差は小さい。最小接地率も30%程度までは、3モデルとも、ほぼ一致している。1700cm/s²入力時の3モデルの接地率の経時変化は、細部を比較すると若干差異があるが最大値発生時刻はいずれも8.0s近傍で発生しており接地率の値もほぼ一致している。



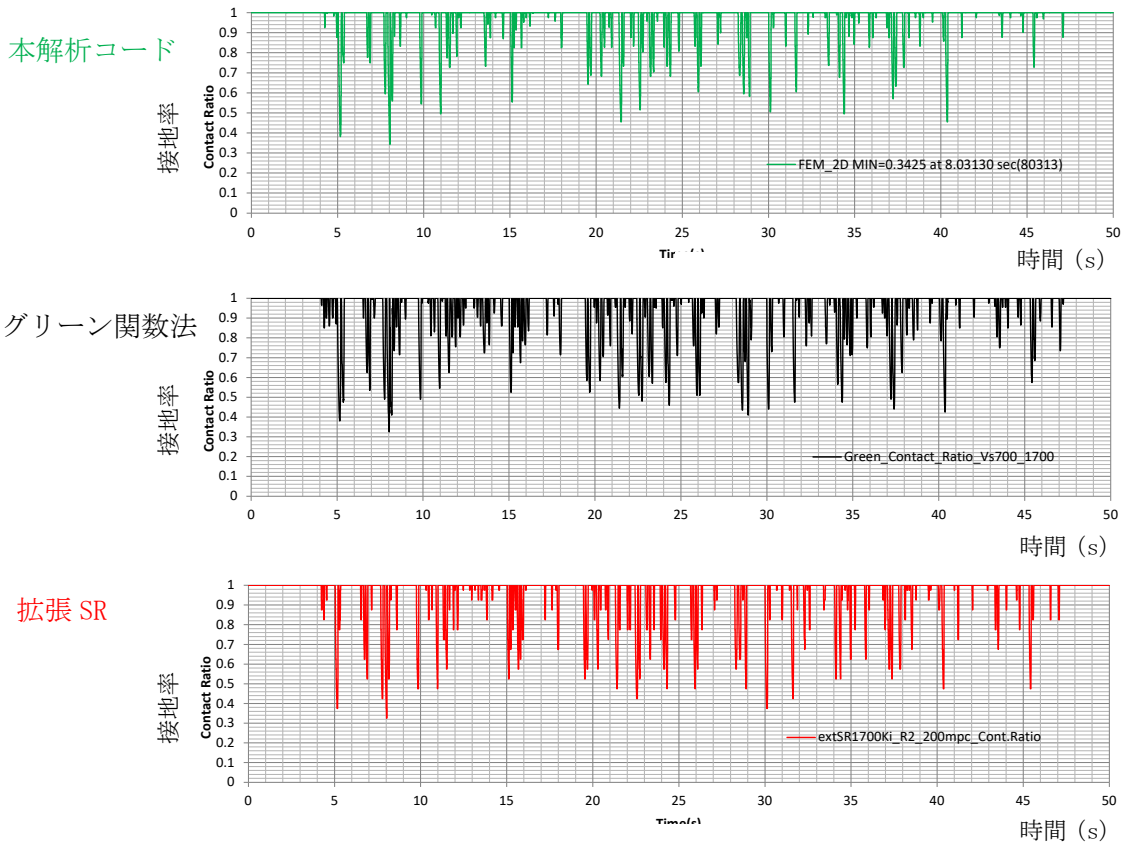
第3.5.1-19図 建屋最大応答水平加速度



第3.5.1-20図 建屋最大応答鉛直加速度



第 3.5.1-21 図 最小接地率



第 3.5.1-22 図 接地率 (1700cm/s²入力時)

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。

- 本申請における本解析コードの使用目的は地盤 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析であることに対し、「3.5.1 検証 (Verification)」に示したとおり、同種の解析について検証を行っていることから、本解析コードを本申請における解析に使用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より、本解析コードを地盤 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析に使用することは妥当である。

別紙 21 NAPISOS

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-4-2 -1-1 別紙6	制御建屋の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 2.0
IV-5-2-1 -1-6-1	制御建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2.0

2. 解析コードの概要

コード名	NAPISOS
項目	
開発機関	電力中央研究所，株式会社竹中工務店
開発時期	1996 年
使用したバージョン	Ver. 2.0
使用目的	質点系モデルによる地震応答解析
コードの概要	<p>NAPISOS（以下，「本解析コード」という。）は，地盤をソリッド要素で，建屋を非線形積層シェル要素や非線形ビーム要素でモデル化することにより，建屋の地盤建屋連成系 3 次元非線形地震応答解析が可能である。</p> <p>建屋基礎と地盤モデル間に，ジョイント要素を設置することにより，基礎浮上り性状を評価することができる。</p> <p>日本国内の原子力関連施設等での多くの利用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> ・ 1 質点系モデルについて，本解析コードで地震応答解析を行った解析解と，Nigam-Jennings の理論式による理論解を比較し，解析解と理論解が一致することを確認している。また，地震応答解析に対して，原子力産業界において使用実績のある他コードを用いた解と，本解析コードによる解析解を比較したベンチマーキングを行った結果，双方の解が概ね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)】</p> <p>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"> ・ 東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽 7 号機の工事計画認可申請において，本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・ 本申請において使用するバージョンは，上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・ 上述の検証の内容のとおり，本申請における使用目的と整合した検証として，質点系モデルによる地震応答解析に対して本解析コードと理論解及び他コードの解析解との比較を実施し，本解析コードが理論解及び他解析コードと同等の解を与えることを確認していることから，本解析コードを本申請における質点系モデルによる地震応答解析に使用することは妥当である。

別紙 22 NUPP4

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 1.4.7 Ver. 1.4.9
IV-2-1-1 -1-2-1	第1非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室の地震応答計算書	Ver. 1.4.9
IV-2-1-1 -1-3-1	安全冷却水系冷却塔 A 基礎の地震応答計算書	Ver. 1.4.13
IV-2-1-1 -1-4-1	安全冷却水系冷却塔 B 基礎の地震応答計算書	Ver. 1.4.13
IV-2-2-2 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.4.10 Ver. 1.4.13
IV-2-2-2 -1-1-2	使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）の耐震性についての計算書	Ver. 1.4.13
IV-2-2-2 -1-1-3	使用済燃料輸送容器管理建屋（トレーラエリア）の耐震性についての計算書	Ver. 1.4.13
IV-5-2-1 -1-1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.4.13
IV-5-2-3 -1-2	使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）の耐震性についての計算書	Ver. 1.4.13

耐技 B

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-3-1	精製建屋の地震応答計算書	Ver. 1.4.7 Ver. 1.4.9 Ver. 1.4.13
IV-2-1-1 -1-15-1	第1軽油貯蔵所の地震応答計算書	Ver. 1.4.10
IV-2-1-1 -1-16-1	第2軽油貯蔵所の地震応答計算書	Ver. 1.4.10 Ver. 1.4.13
IV-2-1-1 -1-17-1	第1保管庫・貯水所の地震応答計算書	Ver. 1.4.10
IV-2-1-1 -1-18-1	第2保管庫・貯水所の地震応答計算書	Ver. 1.4.10 Ver. 1.4.13
IV-2-1-1 -1-21-1	緊急時対策建屋の地震応答計算書	Ver. 1.4.10
IV-2-1-1 -1-22-1	重油貯蔵所の地震応答計算書	Ver. 1.4.10
IV-5-2-1 -1-3-1	精製建屋の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.4.13
IV-5-2-1 -1-11-1	第1軽油貯蔵所の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.4.13
IV-5-2-1 -1-12-1	第2軽油貯蔵所の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.4.13
IV-5-2-1 -1-13-1	第1保管庫・貯水所の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.4.13
IV-5-2-1 -1-14-1	第2保管庫・貯水所の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 1.4.13

2. 解析コードの概要

コード名 項目	NUPP4
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. 1.4.7, 1.4.9, 1.4.10, 1.4.13
使用目的	質点系モデルによる地震応答解析
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）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)】</p> <p>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固有値解析，弾性地震応答解析については，(財)原子力工学試験センターの報告書*1による解析結果と概ね一致することを確認している。 ・本解析コードによる弾塑性地震応答解析については，(財)原子力発電技術機構の報告書*2による解析結果と概ね一致す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)】</p> <p>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"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所の工事計画認可申請において，本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは，上記の先行施設にて使用しているもの（Ver. 1.4.10）と異なるが，バージョンの違いにおいて解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり，本申請における使用目的と整合した検証として，(財)原子力工学試験センターの報告書*1及び(財)原子力発電技術機構の報告書*2による解析解を比較し，双方の解が概ね一致することを確認していることから，本解析コードを本申請における地震応答解析に使用することは妥当である。

- 注記 *1：質点系モデルの線形動的解析プログラムの作成 成果報告書 昭和 56 年 7 月
(財)原子力工学試験センター 原子力安全解析所
- *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

別紙 23 Soil Plus

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-4-2 -1-1 別紙2	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋，安全冷却水系冷却塔 A，安全冷却水系冷却塔 B 及び第 1 非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室の隣接建屋に関する影響評価結果	2019

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-2-1	分離建屋の地震応答計算書	Ver. 2015
IV-2-1-1 -1-4-1	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書	Ver. 2015
IV-2-1-1 -1-5-1	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 2015
IV-2-1-1 -1-7-1	高レベル廃液ガラス固化建屋の地震応答計算書	Ver. 2015
IV-2-1-1 -1-9-1	第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟の地震応答計算書	Ver. 2015
IV-2-1-1 -1-11-1	ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 2015
IV-2-4-2 -1-1 別紙2	精製建屋, ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及びウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 2015
IV-2-4-2 -1-1 別紙5	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 2015
IV-5-2-1 -1-2-1	分離建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2015
IV-5-2-1 -1-4-1	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2015
IV-5-2-1 -1-5-1	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2015
IV-5-2-1 -1-7-1	高レベル廃液ガラス固化建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2015
IV-5-2-1 -1-9-1	第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 2015
IV-5-2-3 -1-2	出入管理建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 2015

2. 解析コードの概要

コード名 項目	Soil Plus
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2007年
使用したバージョン	Ver. 2015, 2019
使用目的	質点系モデルによる地震応答解析
コードの概要	<p>Soil Plus (以下, 「本解析コード」という。) は, 時刻歴領域, 振動数領域における地盤・構造・液体の連成解析が可能な2次元/3次元動的耐震解析ソフトウェアである。</p> <p>3次元形状の地盤-構造物系に対して, 固有値, 振動モード, 各質点と部材の最大応答値及び各質点の応答加速度時刻歴等が求められる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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解と実績のあるプログラムによる解析解を比較し, 双方の解が概ね一致することを確認した。 ・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)】</p> <p>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"> ・東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所の工事計画認可申請において, 本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは, 上記の先行施設にて使用しているもの (Ver. 2017 Revision1 Build2) と異なるが, バージョンの違いにおいて解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・検証の内容のとおり, 弾塑性を考慮した多質点系の地震応答について実績のあるプログラムによる解析解を比較し, 双方の解が概ね一致することを確認していることから, 本解析コードを本申請における地震応答解析に使用することは妥当である。

別紙 24 TDAPⅢ

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-1	前処理建屋の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-4-1	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-5-1	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-9-1	第1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-9-2	第1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟の耐震計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-11-1	ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-11-2	ハル・エンドピース貯蔵建屋の耐震計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-12-1	主排気筒管理建屋の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-13-1	非常用電源建屋の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-14-1	燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-19-1	安全冷却水A冷却塔基礎の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1 -1-20-1	冷却塔A, B基礎の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-2-2 -1-1-2	出入管理建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 3.07
IV-2-2-2 -1-1-3	ウラン脱硝建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 3.07
IV-2-2-2 -1-1-4	ウラン酸化物貯蔵建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 3.07
IV-2-4-2 -1-1 別紙1	前処理建屋, 分離建屋, 安全冷却水 A 冷却塔, 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 3.07

耐技 B

使用添付書類		バージョン
IV-2-4-2 -1-1 別紙3	非常用電源建屋，非常用電源燃料タンク基礎及び冷却塔 A, B の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 3.07
IV-5-2-1 -1-1-1	前処理建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-5-2-1 -1-4-1	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-5-2-1 -1-5-1	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-5-2-1 -1-9-1	第 1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-5-2-1 -1-10-1	主排気筒管理建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-5-2-3 -1-2	出入管理建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 3.07
IV-5-2-3 -1-3	ウラン脱硝建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 3.07
IV-5-2-3 -1-4	ウラン酸化物貯蔵建屋の耐震性に関する計算書	Ver. 3.07

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	TDAPⅢ
開発機関	大成建設株式会社, 株式会社アーク情報システム
開発時期	1980年代後半
使用したバージョン	Ver. 3.07
使用目的	質点系モデルによる地震応答解析
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下、「本解析コード」という。）は、静荷重（節点力、静的震度、強制変形）及び動荷重（節点加振力、強制変位・速度・加速度、地震動入力）を扱うことができる構造解析の汎用解析コードである。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。</p> <p>土木及び建築分野に特化した要素群及び材料非線形モデルを数多くサポートしていることが特徴で、日本国内では、官公庁、大学及び民間を問わず、多くの利用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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の検証として、実績ある解析コードと同一諸元による固有値解析、地震応答解析及び弾性応力解析を行い、算定結果が一致す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)】</p> <p>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"> ・九州電力株式会社川内1号機の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているもの (Ver. 3.05) と異なるが、バージョンアップに伴う変更点は、今回の解析に使用していない材料や要素の追加及び出力関連の機能の追加に関するものであり、今回の解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、固有値解析、地震応答解析及び弾性応力解析に対して本解析コードと実績ある他コードとの比較を実施し、本解析コードが他コードと同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における地震応答解析に使用することは妥当である。

別紙 25 ABAQUS

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-2	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の耐震計算書	Ver. 2018. HF2
IV-2-1-1 -1-4-2	安全冷却水系冷却塔 B 基礎の耐震計算書	Ver. 2018. HF2
IV-2-3-1 -1 別紙 1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2018. HF2
IV-2-3-1 -1 別紙 1-4	安全冷却水系冷却塔 B 基礎の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2018. HF2

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-2	前処理建屋の耐震計算書	Ver. 6. 11-1
IV-2-1-1 -1-2-2	分離建屋の耐震計算書	Ver. 2017
IV-2-1-1 -1-3-2	精製建屋の耐震計算書	Ver. 2018. HF2
IV-2-1-1 -1-4-2	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋建屋の耐震計算書	Ver. R2017x
IV-2-1-1 -1-5-2	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の耐震計算書	Ver. R2017x
IV-2-1-1 -1-6-2	制御建屋の耐震計算書	Ver. 6. 12-3
IV-2-1-1 -1-7-2	高レベル廃液ガラス固化建屋の耐震計算書	Ver. 2017
IV-2-1-1 -1-9-2	第 1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟の耐震計算書	Ver. R2017x
IV-2-1-1 -1-10-2	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の耐震計算書	Ver. 2017

耐技 A

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-11-2	ハル・エンドピース貯蔵建屋の耐震計算書	Ver. R2017x
IV-2-1-1 -1-13-2	非常用電源建屋の耐震計算書	Ver. 6.11-1
IV-2-3-1 -1 別紙1-1	前処理建屋の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 6.11-1
IV-2-3-1 -1 別紙1-2	分離建屋の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2017
IV-2-3-1 -1 別紙1-3	精製建屋の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2018. HF2
IV-2-3-1 -1 別紙1-4	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. R2017x
IV-2-3-1 -1 別紙1-5	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. R2017x
IV-2-3-1 -1 別紙1-6	制御建屋の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. R2018x
IV-2-3-1 -1 別紙1-7	高レベル廃液ガラス固化建屋の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2017
IV-2-3-1 -1 別紙1-8	第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. R2017x
IV-2-3-1 -1 別紙1-9	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2017
IV-2-3-1 -1 別紙1-10	ハル・エンドピース貯蔵建屋の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. R2017x
IV-2-3-1 -1 別紙1-11	非常用電源建屋の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 6.11-1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ABAQUS
開発機関	ダッソー・システムズ社
開発時期	1978年
使用したバージョン	Ver. 6.11-1, 6.12-3, 2017, 2017-HF5, 2018-HF2, R2017x, R2018x
使用目的	弾塑性応力解析
コードの概要	<p>ABAQUS(以下「本解析コード」という)は、米国 HKS(Hibbitt, Karlsson & Sorensen)社によって開発され、現在はダッソー・システムズ株式会社によって保守されている有限要素法による汎用解析計算機コードである。</p> <p>応力解析, 熱応力解析, 伝熱解析などを行うことができ、特に非線形解析が容易に行えることが特徴である。</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"> ・本解析コードによる解析解と実績のあるプログラムによる解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認した。 ・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"> ・東北電力株式会社女川原子力発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているもの(Ver. 2018)と異なるが、バージョンの違いにおいて解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、実績のあるプログラムによる解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認していることから、本解析コードを本申請における弾塑性応力解析に使用することは妥当である。

別紙 26 SD

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-15-2	第1軽油貯蔵所の耐震計算書	Ver. 3.2.2
IV-2-1-1 -1-16-2	第2軽油貯蔵所の耐震計算書	Ver. 3.2.2
IV-2-1-1 -1-17-2	第1保管庫・貯水所の耐震計算書	Ver. 3.2.2
IV-2-1-1 -1-18-2	第2保管庫・貯水所の耐震計算書	Ver. 3.2.2
IV-2-1-1 -1-21-2	緊急時対策建屋の耐震計算書	Ver. 3.2.2
IV-2-1-1 -1-22-2	重油貯蔵所の耐震計算書	Ver. 3.2.2

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SD
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. 3.2.2
使用目的	弾性応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> SD (以下,「本解析コード」という。)は,鹿島建設により開発された平面骨組応力解析(平面要素含む)の解析計算機コードである。 微小変位理論による変位法を用いて,2次元平面骨組(平面要素含む)の応力・変位を算出することができる。
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"> はり要素を用いた応力解析について,本解析コードによる解析結果と文献*による一般構造力学による理論解の比較を行い,解析解が理論解と一致す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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 上述の検証の内容のとおり,本申請における使用目的と整合した検証として,弾性応力解析に対して本解析コードと理論解との比較を実施し,本解析コードが理論解と同等の解を与えることを確認していることから,本解析コードを本申請における弾性応力解析に使用することは妥当である。

注記 * : 成岡昌夫, 服部正他 : コンピュータによる構造工学講座Ⅱ-1-B, 日本鋼構造協会編, 骨組構造解析, 培風館, 昭和46年6月, pp.20~33

3. 解析コードの解析手法について

3.1 一般事項

本解析コードは、鹿島建設株式会社で開発した骨組構造を対象としたプログラムであり、微小変位理論による変位法を用いて平面骨組モデルの応力・反力を算出するための構造解析プログラムである。

3.2 本解析コードの特徴

- (1) 平面問題を対象として、はり要素、ばね要素、平面要素等が用意されており、原子力発電所建屋他の骨組モデル解析に用いることができる。
- (2) 部材荷重、節点荷重及び強制変位を外力として指定できる。
- (3) 大規模問題も取り扱うために、入力データが簡素化されている。
- (4) 解析する座標及び拘束方法は、取り扱う問題にあったものを選ぶことができる。
- (5) 解析に用いる単位系は、SI 単位系または重力単位系を使用することができる。

3.3 解析理論

本解析コードの解析部分は微小変形理論に基づいており、節点変位を未知数とする多次元連立方程式を解くことによって所要の変位・応力・反力を算出する。

この連立方程式は、構造データから決定される剛性マトリックスと荷重データから決定される荷重ベクトルから構成される。

検討に用いた静的線形解析で使用する基本方程式は (1) 式で表される。

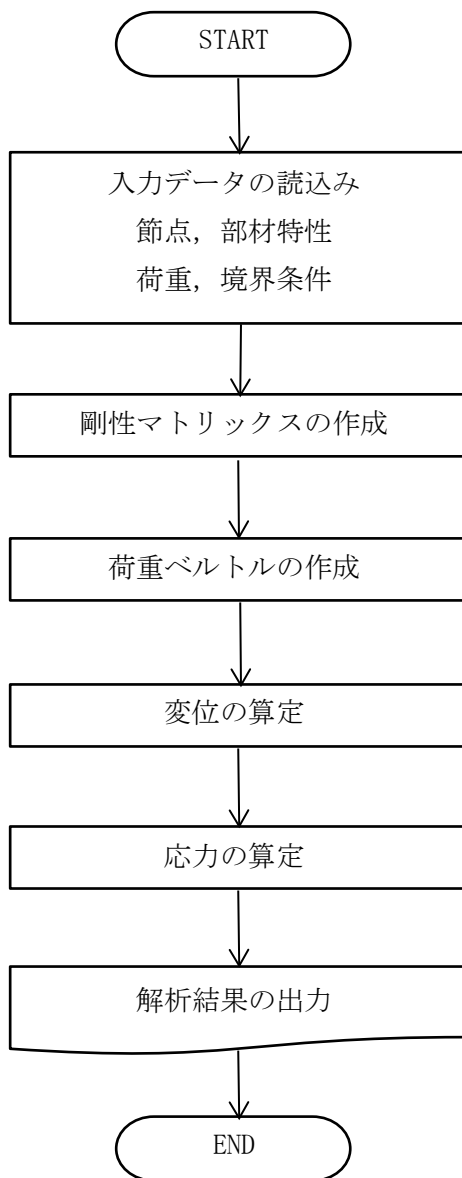
$$[K]\{u\} = \{F\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

- | | |
|---------|------------|
| $[K]$ | : 剛性マトリックス |
| $\{u\}$ | : 変位ベクトル |
| $\{F\}$ | : 荷重ベクトル |

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 3.4-1 図に示す。



第 3.4-1 図 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)

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、日本国内の数多くの原子力施設の工事計画認可申請における解析に使用された実績があるため、解析機能全般について十分な妥当性が確認されている。

こうした特徴を踏まえ、今回設工認における使用目的に対する確認として、一般構造力学による理論解（以下、「理論解」という）と本解析コードによる解析解を比較し、本解析コードの解析機能の適切さを確認している。

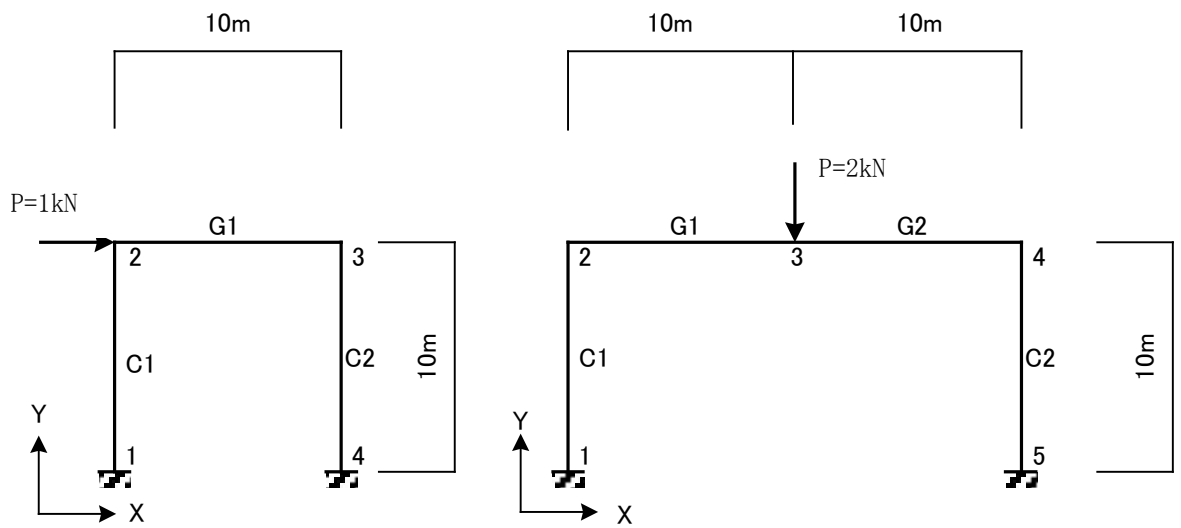
(1) 検証方法

本解析コードによる検証は、はり要素による応力解析（門型ラーメン）を実施し、解析結果と理論解*が一致することの確認をもって行う。

注記 *：成岡昌夫，服部正他：コンピュータによる構造工学講座Ⅱ-1-B，日本鋼構造協会編，骨組構造解析，培風館，昭和46年6月，pp.20～33

(2) 解析条件

検証を行う梁部材の解析条件及び解析モデルを第3.5.2-1図に、部材緒元を第3.5.2-1表に示す。



(1) H1 モデル(水平荷重)

(2) V1 モデル(鉛直荷重)

第 3.5.2-1 図 解析条件及び解析モデル

第 3.5.2-1 表 部材緒元

モデル	部材	断面 2 次モーメント I (cm ⁴)	備考
H1	C1, C2	250,000	水平荷重
	G1	250,000	
V1	C1, C2	250,000	鉛直荷重
	G1, G2	500,000	

ヤング係数 $E=1\text{kN/cm}^2$

(3) 検証結果

荷重点の節点変位及び要素応力について、本解析コードによる解析結果と理論解を比較して、水平荷重時を第 3.5.2-2 表、鉛直荷重時を第 3.5.2-3 表に示す。また、本解析コードの各バージョンの比較結果を第 3.5.2-4 表及び第 3.5.2-5 表に示す。

第 3.5.2-2 表及び第 3.5.2-3 表より、いずれのケースも両者は一致しており、本解析コードが発生変位及び応力を正しく評価していることを確認できる。

また、第 3.5.2-4 表及び第 3.5.2-5 表より、各バージョンの比較結果に違いはないことが確認できる。

第 3.5.2-2 表 水平荷重時の解析結果の比較

項目		本解析コード	理論式
変形	u_2 (cm)	238.095	238.095
	θ_2 (rad)	0.142857	0.142857
曲げ モーメン ト (kN・cm)	M_1	285.714	285.714
	M_2	214.286	214.286
	M_3	214.286	214.286
	M_4	285.714	285.714
反力 (kN)	H_1	0.5	0.5
	H_4	0.5	0.5
	V_1	0.428571	0.428571
	V_4	0.428571	0.428571

第 3.5.2-3 表 鉛直荷重時の解析結果の比較

項目		本解析コード	理論式
変形	θ_2 (rad)	0.333333	0.333333
	v_3 (cm)	333.333	333.333
曲げ モーメン ト (kN・cm)	M_1	166.667	166.667
	M_2	333.333	333.333
	M_3	666.667	666.667
反力 (kN)	H_1	0.5	0.5
	V_1	1.0	1.0

第 3.5.2-4 表 各バージョンの水平荷重時解析結果の比較

項目		Ver. 2.1.0	Ver. 2.1.1	Ver. 3.2.0	Ver. 3.2.1	Ver. 3.2.2
変形	u_2 (cm)	238.095	238.095	238.095	238.095	238.095
	θ_2 (rad)	0.142857	0.142857	0.142857	0.142857	0.142857
曲げモーメント (kN・cm)	M_1	285.714	285.714	285.714	285.714	285.714
	M_2	214.286	214.286	214.286	214.286	214.286
	M_3	214.286	214.286	214.286	214.286	214.286
	M_4	285.714	285.714	285.714	285.714	285.714
反力 (kN)	H_1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	H_4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	V_1	0.428571	0.428571	0.428571	0.428571	0.428571
	V_4	0.428571	0.428571	0.428571	0.428571	0.428571

第 3.5.2-5 表 各バージョンの鉛直荷重時の解析結果の比較

項目		Ver. 2.1.0	Ver. 2.1.1	Ver. 3.2.0	Ver. 3.2.1	Ver. 3.2.2
変形	θ_2 (rad)	0.333333	0.333333	0.333333	0.333333	0.333333
	v_3 (cm)	333.333	333.333	333.333	333.333	333.333
曲げモーメント (kN・cm)	M_1	166.667	166.667	166.667	166.667	166.667
	M_2	333.333	333.333	333.333	333.333	333.333
	M_3	666.667	666.667	666.667	666.667	666.667
反力 (kN)	H_1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	V_1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

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。

- 本申請における本解析コードの使用目的は弾性応力解析であることに対し、「3.5.1 検証 (Verification)」に示したとおり、同種の解析について検証を行っていることから、本解析コードを本申請における解析に使用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より、本解析コードを建物・構築物の弾性応力解析に用いることは妥当である。

別紙 27 FRAME

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-4-2	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の耐震計算書	2005/12 版

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FRAME
開発機関	株式会社大林組
開発時期	1975 年
使用したバージョン	2005/12 版
使用目的	弾性応力解析
コードの概要	<p>FRAME（以下、「本解析コード」という。）は、任意形状（平面及び立体）の骨組構造物及び一部連続体を対象とした静的／動的解析を行う計算機コードである。</p> <p>動的解析では、固有値解析、線形応答解析（モーダルアナリシス、時刻歴応答解析、定常振動解析）の他、部材要素の材料非線形性を考慮した非線形応答解析を行うことができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本計算機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解と実績のあるプログラムによる解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認した。 ・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"> ・東北電力株式会社東通原子力発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、実績のあるプログラムによる解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認していることから、本解析コードを本申請における弾性応力解析に使用することは妥当である。

別紙 28 MSC NASTRAN

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-2	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-1-1 -1-2-2	第 1 非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-1-1 -1-3-2	安全冷却水系冷却塔 A 基礎の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-2-2 -1-1-2	使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）の耐震性についての計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-3-1 -1 別紙 1-1	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-3-1 -1 別紙 1-2	第 1 非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-3-1 -1 別紙 1-3	安全冷却水系冷却塔 A 基礎の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 1

耐技 A

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-2	前処理建屋の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 0
IV-2-1-1 -1-2-2	分離建屋の耐震計算書	Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-1 -1-3-2	精製建屋の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-1-1 -1-7-2	高レベル廃液ガラス固化建屋の耐震計算書	Ver. 2013. 0. 0 Ver. 2016. 1. 1
IV-2-1-1 -1-8-3	主排気筒基礎の耐震計算書	Ver. 2008 r1

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1-1 -1-9-2	第1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟の耐震計算書	Ver. 2008 r1
IV-2-1-1-1 -1-10-2	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理 建屋の耐震計算書	Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-1-1-11- 2	ハル・エンドピース貯蔵建屋の耐震計算書	Ver. 2008 r1
IV-2-1-1-1 -1-14-2	燃料油貯蔵タンク基礎の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 0
IV-2-1-1-1 -1-15-2	第1 軽油貯蔵所の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-1-1-1 -1-16-2	第2 軽油貯蔵所の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-1-1-1 -1-17-2	第1 保管庫・貯水所の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-1-1-1 -1-18-2	第2 保管庫・貯水所の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-1-1-1 -1-19-2	安全冷却水A冷却塔基礎の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 0
IV-2-1-1-1 -1-20-2	冷却塔A, B基礎の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 0
IV-2-1-1-1 -1-21-2	緊急時対策建屋の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-1-1-1 -1-22-2	重油貯蔵所の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-3-1-1 別紙1-10	ハル・エンドピース貯蔵建屋の水平2方向及び 鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2008 r1
IV-2-3-1-1 別紙1-12	燃料油貯蔵タンク基礎の水平2方向及び鉛直方 向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 0
IV-2-3-1-1 別紙1-13	第1 軽油貯蔵所の水平2方向及び鉛直方向地震 力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 1

使用添付書類		バージョン
IV-2-3-1 -1 別紙1-14	第2軽油貯蔵所の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-3-1 -1 別紙1-15	第1保管庫・貯水所の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-3-1 -1 別紙1-16	第2保管庫・貯水所の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-3-1 -1 別紙1-17	安全冷却水A冷却塔基礎の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 0
IV-2-3-1 -1 別紙1-18	冷却塔A、B基礎の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 0
IV-2-3-1 -1 別紙1-19	緊急時対策建屋の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-3-1 -1 別紙1-20	重油貯蔵所の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-3-1 -1 別紙1-21-2	主排気筒（基礎）の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2008 r1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	The MacNeal-Schwendler Corporation (現 MSC Software Corporation)
開発時期	1971 年 (一般商用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2008 r1, 2013. 1. 1, 2013. 0. 0, 2013. 1. 1, 2016. 1. 1
使用目的	弾性応力解析
コードの概要	<p>MSC NASTRAN (以下, 「本解析コード」という。) は, 航空機の機体強度解析用として開発された有限要素法による汎用解析計算機コードである。</p> <p>動的解析, 静的解析, 熱伝導解析等の機能を有し, 固有振動数, 刺激係数及び応力等の算定が可能である。</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"> ・本解析コードによる弾性応力解析の解と理論解との比較を実施し, 本解析コードが理論解と同等の解を与え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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・関西電力株式会社の高浜発電所 3 号機にて, 同じ使用目的の解析に使用されており, 実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは, 上記の先行施設にて使用しているもの (Ver. 2012. 1. 0) と異なるが, バージョンの違いにおいて解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・本申請における使用目的と整合した確認として, 弾性応力解析に対して本解析コードと理論解との比較を実施し, 本解析コードが理論解と同等の解を与えることを確認していることから, 本解析コードを本申請における弾性応力解析に使用することは妥当である。

別紙 29 DYN2E

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-8-1	主排気筒の地震応答計算書	Ver. 8.1.0
IV-2-1-1 -1-8-2	主排気筒筒身及び鉄塔の耐震計算書	Ver. 8.1.0
IV-2-3-1 -1 別紙 1- 2 1-1	主排気筒の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 8.1.0
IV-5-2-1 -1-8-1	主排気筒の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 8.1.0
IV-5-2-1 -1-8-2	主排気筒（鉄塔・塔身）の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する耐震計算書	Ver. 8.1.0

2. 解析コードの概要

項目	コード名 DYN2E
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2018年（初版開発時期 1972年）
使用したバージョン	Ver. 8.1.0
使用目的	固有値解析，地震応答解析，静的応力解析
コードの概要	<p>DYN2E（以下「本解析コード」という。）は，土木・建築分野における骨組解析を対象として開発された，市販されている汎用構造解析コードである。</p> <p>本解析コードは，2次元／3次元の骨組構造物に対し，静的な節点力が入力された場合の構造物の変位及び断面力を求めるための静的応力解析，固有周期，固有振動モード及びモード減衰定数等を算出する固有値解析，モード法，直接積分法，複素応答法及び周波数応答法による線形動的応答解析，直接積分法による非線形動的応答解析を行うことができる。</p> <p>橋梁，建築，機器構造物，原子力建屋等で豊富な解析実績を有する。</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の検証として，実績ある別解析コードと同一諸元による固有値解析，地震応答解析及び静的応力解析を行い，算定結果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"> ・東北電力株式会社女川原子力発電所2号機の工事計画認可申請において，本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは，上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり，本申請における使用目的と整合した検証として，固有値解析，地震応答解析及び静的応力解析に対して本解析コードと実績ある他コードとの比較を実施し，本解析コードが他コードと同等の解を与えることを確認していることから，本解析コードを本申請における固有値解析，地震応答解析及び静的応力解析に使用することは妥当である。

IV - 6 - 1

別紙 30 T D A P III

別紙 30 TDAPⅢ

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -2-1-2	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/安全冷却水系冷却塔 B 基礎間洞道(TY81)の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-1-4	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/安全冷却水系冷却塔 B 基礎間洞道(TY82)の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-1-6	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/安全冷却水系冷却塔 A 基礎間洞道(TY83)の耐震計算書	Ver.3.07

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -2-1-2	前処理建屋/分離建屋/精製建屋/高レベル廃液ガ ラス固化建屋/ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 /制御建屋/非常用電源建屋/冷却水設備の安全冷 却水系/主排気筒/主排気筒管理建屋間洞道(TX 4 0S)の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-1-4	前処理建屋/分離建屋/精製建屋/高レベル廃液ガ ラス固化建屋/ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 /制御建屋/非常用電源建屋/冷却水設備の安全冷 却水系/主排気筒/主排気筒管理建屋間洞道(TX51) の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-1-6	前処理建屋/分離建屋/精製建屋/高レベル廃液ガ ラス固化建屋/ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 /制御建屋/非常用電源建屋/冷却水設備の安全冷 却水系/主排気筒/主排気筒管理建屋間洞道(TX60) の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-1-8	前処理建屋/分離建屋/精製建屋/高レベル廃液ガ ラス固化建屋/ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 /制御建屋/非常用電源建屋/冷却水設備の安全冷 却水系/主排気筒/主排気筒管理建屋間洞道(TX70) の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-1-10	前処理建屋/分離建屋/精製建屋/高レベル廃液ガ ラス固化建屋/ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 /制御建屋/非常用電源建屋/冷却水設備の安全冷 却水系/主排気筒/主排気筒管理建屋間洞道 (TY10E)の耐震計算書	Ver.3.07

IV-2-1-1 -2-1-12	前処理建屋／分離建屋／精製建屋／高レベル廃液ガラス固化建屋／ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋／制御建屋／非常用電源建屋／冷却水設備の安全冷却水系／主排気筒／主排気筒管理建屋間洞道(TY20)の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-1-14	前処理建屋／分離建屋／精製建屋／高レベル廃液ガラス固化建屋／ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋／制御建屋／非常用電源建屋／冷却水設備の安全冷却水系／主排気筒／主排気筒管理建屋間洞道(TY25)の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-2-2	分離建屋／高レベル廃液ガラス固化建屋間洞道(AT06)の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-3-2	分離建屋／精製建屋／ウラン脱硝建屋／ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋／低レベル廃液処理建屋／低レベル廃棄物処理建屋／分析建屋間洞道(AT02N)の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-3-4	分離建屋／精製建屋／ウラン脱硝建屋／ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋／低レベル廃液処理建屋／低レベル廃棄物処理建屋／分析建屋間洞道(AT05)の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-4-2	精製建屋／ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋間洞道(AT04)の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-1-1 -2-5-2	高レベル廃液ガラス固化建屋/第1ガラス固化体貯蔵建屋間洞道(AT52)の耐震計算書	Ver.3.07
IV-2-3-1 -2 別紙	洞道の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価	Ver.3.07
IV-5-2-1 -2-1	洞道の基準地震動 Ss を 1.2 倍した地震力に対する耐震計算結果	Ver.3.07

項目 \ コード名	TDAPⅢ
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994 年
使用したバージョン	Ver.3.07
使用目的	2 次元有限要素法による地震応答解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ TDAPⅢ（以下、「本解析コード」という。）は、株式会社アーク情報システムで開発された、鉄筋コンクリート構造物の 2 次元及び 3 次元の有限要素法を用いた解析を行う汎用プログラムである。 ・ 土木・建築分野に特化した要素群，材料非線形モデルを数多くサポートしていることが特徴で，日本国内では，建設部門を中心として，官公庁，大学，民間問わず，多くの利用実績がある。 ・ 本解析コードの主な特徴としては，以下に示すとおりである。 <ul style="list-style-type: none"> ①地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ②線材要素，平面要素，立体要素等を用いることができる。 ③静的解析・動的解析を行うことができる。 ④地盤及び構造物の非線形性が考慮できる。

<p>検証(Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証は以下のとおり実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 橋梁, 橋脚, 地盤～構造物連成, 地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており, 十分な使用実績があるため, 信頼性があると判断できる。 ・ 本解析コードの運用環境について, 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ 開発機関より提示されている本解析コードのマニュアルに記載されている例題の提示解と, 本解析コードによる解析解との比較を実施し, 解析解が提示解と概ね一致していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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"> ・ 原子力産業界において, 地中埋設構造物の地震応答解析に本解析コードが使用された実績がある。 ・ 関西電力株式会社高浜発電所第 3 号機の工事計画認可申請において, 屋外重要土木構造物の 2 次元有限要素法による地震応答解析に本解析コード (Ver. 3.05) が使用された実績があり, 本申請での対象に適用性があることがすでに検証されている。 ・ 本申請において使用するバージョンは, 高浜発電所 3 号機において使用されているものと異なるが, バージョン変更において解析結果に影響がないことを確認している。 ・ 本申請における使用目的に対する解析コード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。
---	---

IV-6-1

別紙 3 1 F L I P R O S E

別紙31 FLIP ROSE

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-4-3 -1-1 別紙	洞道の液状化に関する影響評価結果	Ver. 7.2

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-4-3 -1-1 別紙	洞道の液状化に関する影響評価結果	Ver. 7.2

項目 \ コード名	FLIP ROSE
開発機関	FLIP コンソーシアム
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Ver.7.4.1
使用目的	2 次元有限要素法による地震応答解析
コードの概要	<p>有効応力解析コード FLIP (Finite element analysis program of Liquefaction Process / Response Of Soil-structure systems during Earthquakes) は、1988 年に運輸省港湾技術研究所 (現：(独)港湾空港技術研究所)において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく、2次元地震応答解析プログラムである。地盤の過剰間隙水圧の上昇を適切に考慮できる解析コードとして、港湾の施設の設計を中心に数多くの実績を有しており、FLIP の主な特徴として、以下の①～⑤を挙げる事ができる。</p> <p>①有限要素法に基づくプログラムである。</p> <p>②平面ひずみ状態を解析対象とする。</p> <p>③地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析を行い、部材断面力や変形等を計算する。</p> <p>④土の応力-ひずみモデルとして、マルチスプリング・モデルを採用している。</p> <p>⑤有効応力の変化は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧算定モデルとして井合モデルを用いている。</p>

<p style="text-align: center;"> 検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation) </p>	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> ・ マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が提示解と一致す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、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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、港湾施設の設計に用いられる「港湾の施設の技術上の基準・同解説(2007)(日本港湾協会)」において、有効応力解析に対する適用性が確認されている解析コードとして扱われており、今回の解析に使用することは妥当である。 ・ 本解析コードは、海岸構造物で多くの適用実績があるものの、その適用範囲が海岸構造物に限定されるものではないことを確認している。 ・ 日本原子力発電株式会社東海第二発電所の工事計画認可申請において、屋外重要土木構造物の地震応答解析に本解析コード(Ver. 7.3.0_2)が使用された実績があり、本申請での対象に適用性があることがすでに検証されている。 ・ 東京電力HD株式会社柏崎刈羽発電所7号機の工事計画認可申請において、屋外重要土木構造物の地震応答解析に本解析コード(Ver. 7.4.1)が使用された実績があり、本申請での対象に適用性があることがすでに検証されている。 ・ 本申請において使用されるバージョンは、柏崎刈羽発電所7号機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。 ・ 本申請における使用目的に対する解析コード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。
---	--

IV - 6 - 1

別紙 3 2 WCOMD - S J

別紙 3 2 WCOMD-SJ

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -2-1-6	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋／安全冷却水系冷却塔 A 基礎間洞道 (TY83) の耐震計算書	Ver. 7. 2
IV-2-4-3 -1-1 別紙	洞道の液状化に関する影響評価結果	Ver. 7. 2

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -2-1-4	前処理建屋／分離建屋／精製建屋／高レベル廃液ガ ラス固化建屋／ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 ／制御建屋／非常用電源建屋／冷却水設備の安全冷 却水系／主排気筒／主排気筒管理建屋間洞道 (TX51) の耐震計算書	Ver. 7. 2
IV-2-1-1 -2-1-6	前処理建屋／分離建屋／精製建屋／高レベル廃液ガ ラス固化建屋／ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 ／制御建屋／非常用電源建屋／冷却水設備の安全冷 却水系／主排気筒／主排気筒管理建屋間洞道 (TX60) の耐震計算書	Ver. 7. 2
IV-2-1-1 -2-1-8	前処理建屋／分離建屋／精製建屋／高レベル廃液ガ ラス固化建屋／ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 ／制御建屋／非常用電源建屋／冷却水設備の安全冷 却水系／主排気筒／主排気筒管理建屋間洞道 (TX70) の耐震計算書	Ver. 7. 2
IV-2-1-1 -2-1-10	前処理建屋／分離建屋／精製建屋／高レベル廃液ガ ラス固化建屋／ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 ／制御建屋／非常用電源建屋／冷却水設備の安全冷 却水系／主排気筒／主排気筒管理建屋間洞道 (TY10E) の耐震計算書	Ver. 7. 2
IV-2-1-1 -2-1-12	前処理建屋／分離建屋／精製建屋／高レベル廃液ガ ラス固化建屋／ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 ／制御建屋／非常用電源建屋／冷却水設備の安全冷 却水系／主排気筒／主排気筒管理建屋間洞道 (TY20) の耐震計算書	Ver. 7. 2
IV-2-1-1 -2-5-2	高レベル廃液ガラス固化建屋／第 1 ガラス固化体貯 蔵建屋間洞道 (AT52) の耐震計算書	Ver. 7. 2

IV-2-3-1 -2 別紙	洞道の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価	Ver. 7.2
IV-2-4-3 -1-1 別紙	洞道の液状化に関する影響評価結果	Ver. 7.2
IV-5-2-1 -2-1	洞道の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する耐震計算結果	Ver. 7.2

	WCOMD-SJ
開発機関	東京大学
開発時期	1987年
使用したバージョン	Ver.7.2
使用目的	2次元非線形有限要素法（材料非線形解析）
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ WCOMD-SJ（以下、「本解析コード」という。）は、東京大学コンクリート研究室で開発された、鉄筋コンクリート構造物の2次元有限要素法を用いた解析を行うプログラムである。 ・ 鉄筋コンクリートに関する数多くの実験と理論的検証結果に基づいた高精度の構成則を用いており、ひび割れを生じた様々な鉄筋コンクリート構造物の2次元非線形動的解析・静的解析を行う。
検証(Verification)及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証は以下のとおり実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・せん断耐力式によるせん断耐力と解析によるせん断耐力が概ね一致していることを確認している。また、鉄筋コンクリートはりの載荷試験の結果と解析結果が概ね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、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・開発機関より提示されている本解析コードのマニュアルに記載されている例題の提示解と、本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が提示解と概ね一致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"> ・原子力産業界において、地中埋設構造物の耐震評価に本解析コードが使用された実績がある。 ・東京電力HD株式会社柏崎刈羽発電所7号機の工事計画認可申請において、屋外重要土木構造物の地震応答解析に本解析コード(Ver.7.2)が使用された実績があり、本申請での対象に適用性があることがすでに検証されている。 ・本申請において使用されるバージョンは、柏崎刈羽発電所7号機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。 ・本申請における使用目的に対する解析コード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。

別紙 33 (Soil Plus)

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1-3-1	高レベル廃液ガラス固化建屋/前処理建屋/分離建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋/使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水冷却塔B（基礎）の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	2017 Revision1 Build2
IV-2-1-1-3-3	制御建屋/分析建屋/低レベル廃棄物処理建屋/チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	2017 Revision1 Build2

2. 解析コードの概要

コード名 項目	Soil Plus
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2007年
使用したバージョン	Ver.2017 Revision1 Build2
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
コードの概要	<p>Soil Plus (以下, 「本解析コード」という。) は, 時刻歴領域, 振動数領域における地盤・構造・液体の連成解析が可能な2次元/3次元動的耐震解析ソフトウェアである。</p> <p>3次元形状の地盤-構造物系に対して, 固有値, 振動モード, 各質点と部材の最大応答値及び各質点の応答加速度時刻歴等が求められる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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解と実績のあるプログラムによる解析解を比較し, 双方の解が概ね一致す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)】</p> <p>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"> ・東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所の工事計画認可申請において, 本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは, 上記の先行施設にて使用しているもの (Ver.2017 Revision1 Build2) と同じであることを確認している。 ・検証の内容のとおり, 本申請における使用目的と類似した検証として, 弾塑性を考慮した多質点系の地震応答について実績のあるプログラムによる解析解を比較し, 双方の解が概ね一致することを確認していることから, 本解析コードを本申請における2次元有限要素法による地震応答解析に使用することは妥当である。

別紙 34 (REFLECT)

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
IV-2-1-1-3-1	高レベル廃液ガラス固化建屋/前処理建屋/分離建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋/使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水冷却塔B(基礎)の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 2.0
IV-2-1-1-3-4	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋/ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋/ウラン脱硝建屋/ウラン酸化物貯蔵建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 2.0
IV-2-4-1-1-3-1 別紙1	高レベル廃液ガラス固化建屋/前処理建屋/分離建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋/使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水冷却塔B(基礎)の地下水排水設備の一関東評価用地震動(鉛直)に関する影響評価	Ver. 2.0
IV-2-4-1-1-3-1 別紙4	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋/ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋/ウラン脱硝建屋/ウラン酸化物貯蔵建屋の地下水排水設備の一関東評価用地震動(鉛直)に関する影響評価	Ver. 2.0

2. 解析コードの概要

コード名 項目	REFLECT
開発機関	大成建設株式会社
開発時期	1986 年
使用した バージョン	Ver. 2.0
使用目的	1次元波動論に基づく入力地震動の策定
コードの概要	<p>REFLECT（以下、「本解析コード」という。）は、米国カリ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応答波形を算出するプログラムである。</p> <p>日本国内の原子力関連施設等での多くの利用実績がある。</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弾性地盤の増幅特性の解析結果と理論モデルによる理論解を比較し、解析結果と理論解が一致す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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・九州電力株式会社川内1号機の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、弾性地盤の増幅特性に対して本解析コードと理論解との比較を実施し、本解析コードが理論解と同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における1次元波動論に基づく入力地震動の策定に使用することは妥当である。

別紙 35 DYN2E

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-8-1	主排気筒の地震応答計算書	Ver. 8.1.0
IV-2-1-1 -1-8-2	主排気筒筒身及び鉄塔の耐震計算書	Ver. 8.1.0
IV-2-3-1 -1 別紙 1- 2 1-1	主排気筒の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 8.1.0
IV-5-2-1 -1-8-1	主排気筒の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する地震応答計算書	Ver. 8.1.0
IV-5-2-1 -1-8-2	主排気筒（鉄塔・塔身）の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する耐震計算書	Ver. 8.1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	DYNA2E
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2018 年（初版開発時期 1972 年）
使用したバージョン	Ver. 8.1.0
使用目的	固有値解析，地震応答解析，静的応力解析
コードの概要	<p>DYNA2E（以下「本解析コード」という。）は，土木・建築分野における骨組解析を対象として開発された，市販されている汎用構造解析コードである。</p> <p>本解析コードは，2 次元／3 次元の骨組構造物に対し，静的な節点力が入力された場合の構造物の変位及び断面力を求めるための静的応力解析，固有周期，固有振動モード及びモード減衰定数等を算出する固有値解析，モード法，直接積分法，複素応答法及び周波数応答法による線形動的応答解析，直接積分法による非線形動的応答解析を行うことができる。</p> <p>橋梁，建築，機器構造物，原子力建屋等で豊富な解析実績を有する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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の検証として，実績ある別解析コードと同一諸元による固有値解析，地震応答解析及び静的応力解析を行い，算定結果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用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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"> ・東北電力株式会社女川原子力発電所 2 号機の工事計画認可申請において，本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは，上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり，本申請における使用目的と整合した検証として，固有値解析，地震応答解析及び静的応力解析に対して本解析コードと実績ある他コードとの比較を実施し，本解析コードが他コードと同等の解を与えることを確認していることから，本解析コードを本申請における固有値解析，地震応答解析及び静的応力解析に使用することは妥当である。

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1-3-1	高レベル廃液ガラス固化建屋／前処理建屋／分離建屋／使用済燃料受入れ・貯蔵建屋／使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋／使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水冷却塔B（基礎）地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-2-1-1-3-2	精製建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-2-1-1-3-3	制御建屋／分析建屋／低レベル廃棄物処理建屋／チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-2-1-1-3-4	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋／ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋／ウラン脱硝建屋／ウラン酸化物貯蔵建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-2-1-1-3-5	第1 ガラス固化体貯蔵建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-2-1-1-3-6	非常用電源建屋の地下水排水設備の耐震性についての計算書	Ver. 1.0
IV-2-1-1-3-7	ハル・エンドピース貯蔵建屋の地下水排水設備の耐震性についての計算書	Ver. 1.0
IV-2-1-1-3-8	緊急時対策建屋／第1 保管庫・貯水所／第1 軽油貯槽（基礎）／重油貯槽（基礎）の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-2-1-1-3-9	第2 保管庫・貯水所／第2 軽油貯槽（基礎）の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-1-3-1	高レベル廃液ガラス固化建屋／前処理建屋／分離建屋／使用済燃料受入れ・貯蔵建屋／使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋の地下水排水設備の基準地震動S _s を1.2倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 1.0

IV-5-2-1 -3-2	精製建屋の地下水排水設備の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-1 -3-3	制御建屋／分析建屋の地下水排水設備の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-1 -3-4	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋／ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋／ウラン脱硝建屋／ウラン酸化物貯蔵建屋の地下水排水設備の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-1 -3-5	第1 ガラス固化体貯蔵建屋の地下水排水設備の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-1 -3-6	緊急時対策建屋／第1 保管庫・貯水所／第1 軽油貯槽（基礎）／重油貯槽（基礎）の地下水排水設備の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 1.0
IV-5-2-1 -3-7	第2 保管庫・貯水所／第2 軽油貯槽（基礎）の地下水排水設備の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

コード名 項目	T-Frame2D-SI
東電設計株式会社	東電設計株式会社
開発時期	2021 年
使用した バージョン	Ver. 1.0
使用目的	2次元平面骨組構造解析
コードの概要	<p>T-Frame2D-SI(以下、「本解析コード」という。)は、東電設計株式会社で開発された2次元平面骨組構造解析コードである。</p> <p>本解析コードは、2次元平面上のフレームモデルを微小変位理論による変位法を用いて解く構造解析プログラムである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、集水管及びサブドレン管の変位算出に使用している。</p> <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"> ・本解析コードを用いて静的解析を行った解析結果と、構造力学公式集に記載の理論式による理論解を比較し、両者が概ね一致す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、動作確認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"> ・電力業界において、プラント構造物や地中埋設構造物などの多数の解析に本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・本解析コードで用いている変位法は、一般的によく用いられている方法であり、集水管及びサブドレン管の変位算出に適用することは妥当性があると判断できる。

3. T-Frame2D-SI Ver. 1.0 の解析手法について

3.1 一般事項

本解析コードは、2次元平面上のフレームモデルを微小変位理論による変位法を用いて解く構造解析プログラムであり、集水管及びサブドレン管の変位算出に使用している。

3.2 解析コードの特徴

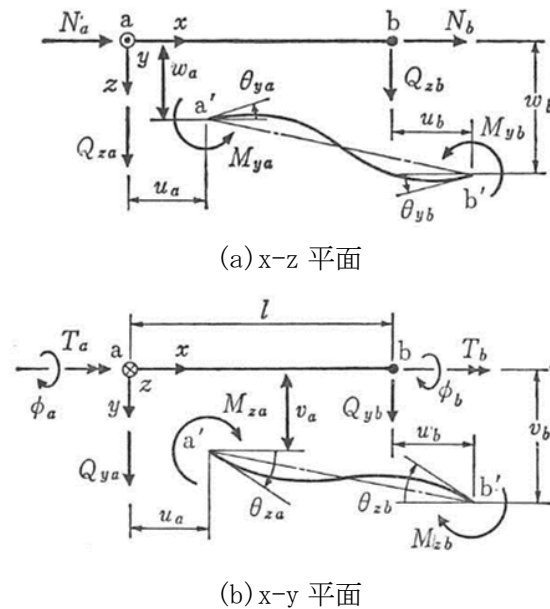
構造形は、2次元平面上のフレーム(梁要素)でモデル化する。その形状は任意である。

外荷重は、節点に作用させる集中荷重と要素に作用させる分布荷重が設定できる。

本解析コードでは、計算結果として、変位、断面力(軸力・せん断力・曲げモーメント)を出力する。計算結果の図化機能としては、変位図、断面力図を表示することができる。

3.3 解析手法

本解析コードは微小変位理論(力の釣り合いを考える上では変形の影響は無視でき、力は変形前の形状に対して釣り合っていると考える。)に基づいた変位法による平面骨組み構造解析コードである。解析の理論概要¹⁾について以下第3.3-1図に示す。



第 3.3-1 図 理論概要モデル

部材の一端aを原点とし、X軸は部材中心軸に、y、z軸は断面主軸にそれぞれ一致する右手直交直線座標系(x, y, z)を部材座標に選ぶ。部材の両端a, bの座標軸方向の並進変位u, v, wと座標軸に関して右ねじまわりの回転角 ϕ , θ_y , θ_z をa端, b端についてそれぞれ6次の列ベクトルで表す。

$$\left. \begin{aligned} d_a &= (u_a, v_a, w_a, \phi_a, \theta_{ya}, \theta_{za})^T \\ d_b &= (u_b, v_b, w_b, \phi_b, \theta_{yb}, \theta_{zb})^T \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 ϕ はねじり角であり、微小変位理論では $\theta_y = -dw/dx$, $\theta_z = dv/dx$ である。^Tは転置記号である。

式(1)の変位の方向の部材端力を次式で表す。

$$\left. \begin{aligned} f_a &= (N_a, Q_{ya}, Q_{za}, T_a, M_{ya}, M_{za})^T \\ f_b &= (N_b, Q_{yb}, Q_{zb}, T_b, M_{yb}, M_{zb})^T \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 N は軸力、 T はねじりモーメント、 Q と M は y 、 z 軸に関するせん断力と曲げモーメントである。部材の剛性方程式は次の行列式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} k_{aa} & k_{ab} \\ k_{ba} & k_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_a \\ d_b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_a \\ f_b \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} f_a^0 \\ f_b^0 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

ここに、係数行列は部材の剛性行列であり、 f_a^0 、 f_b^0 は中間荷重による a 、 b 端の等価節点力ベクトルである。

構造系全体に共通な1つの基準座標として、適当な位置に原点をもつ右手直交直線座標系 (X, Y, Z) を定める (x, y, z) 座標を (X, Y, Z) 座標に変換する座標変換行列 T を用いて、式(3)を次式のように変換する。

$$\begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ba} & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_a \\ D_b \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} F_a^0 \\ F_b^0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_a \\ F_b \end{Bmatrix} \quad (4)$$

ここに、 $T^{-1}=T^T$ を考慮して

$$K_{aa}=Tk_{aa}T^T, \quad K_{ab}=Tk_{ab}T^T=K_{ba}^T, \quad K_{bb}=Tk_{bb}T^T \quad (5)$$

$$D_a=Td_a, \quad D_b=Td_b, \quad F_a=Tf_a, \quad F_b=Tf_b, \quad F_a^0=Tf_a^0, \quad F_b^0=Tf_b^0 \quad (6)$$

節点 i の節点変位を D_i 、節点荷重(又は反力)を P_i とする。各節点において変位の適合条件と力の釣合い条件から部材端変位 D_a 、 D_b と部材端力 F_a 、 F_b を消去すると、式(4)を全部材について組立てた次式の構造全体の剛性方程式が得られる。

$$K_L D = P - F^0 \quad \text{又は} \quad \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \cdots & K_{1n} \\ & K_{22} & \cdots & K_{2n} \\ & & \ddots & \vdots \\ \text{sym.} & & & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} F_1^0 \\ F_2^0 \\ \vdots \\ F_n^0 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

ここに、 F_i^0 は節点 i に集まる部材の中間荷重項 F_a^0 又は F_b^0 の和である。各小行列とベクトルの次数は節点の自由度(平面骨組は3、立体骨組では6)に等しい。なお、 n は節点の総数である。

式(7)の係数行列 K_L は構造全体の剛性行列であり、その小行列 K_{ij} は次のようにして求められる。

対角小行列 K_{ii} は、節点 i に集まる部材の i に結合された部材端側の剛性行列 K_{aa} 又は K_{bb} の和になる。上三角行列部分の $K_{ij}(i < j)$ は、節点 i と j をつなぐ部材の剛性行列 K_{ab} に等しい。ただし、部材の a 端(原点)側の節点番号が b 端側の節点番号より小さくなるように部材座標の原点を定めたものとする。もし、 i, j をつなぐ部材がなければ $K_{ij}=0$ である。

式(7)について境界条件を考えて、節点移動がある場合は以下のとおりである。

第2節点に節点移動 Δ_2 が与えられていたものとする。すると $D_2 = \Delta_2$ で、 P_2 には節点移動に必要な未知の強制力 Q_2 が含まれる。このときには、節点2に関する平衡方程式は式(7)と独立になるので、式(7)を次式のように変形する。

$$\begin{bmatrix} K_{11} & 0 & K_{13} & \cdots & K_{1n} \\ & E & 0 & \cdots & 0 \\ & & K_{33} & \cdots & K_{3n} \\ \text{sym.} & & & \cdots & \\ & & & & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ \vdots \\ D_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ 0 \\ P_3 \\ \vdots \\ P_n \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} F_1^0 \\ 0 \\ F_3^0 \\ \vdots \\ F_n^0 \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} K_{12} \\ -E \\ K_{32} \\ \vdots \\ K_{n2} \end{Bmatrix} \Delta_2 \quad (8)$$

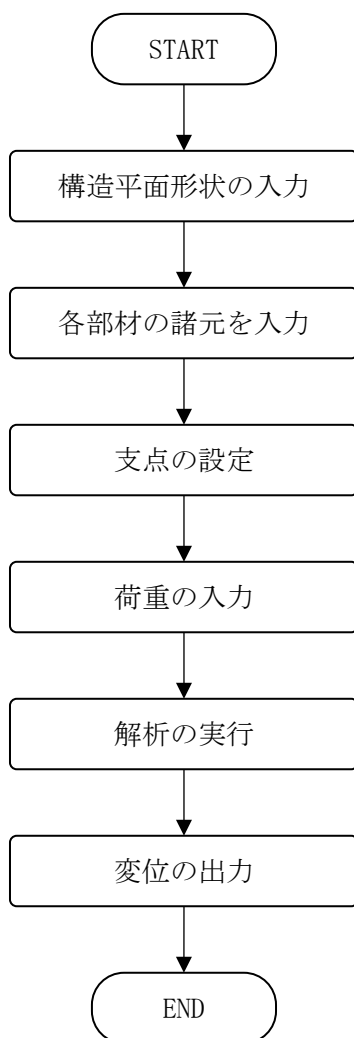
ここに、 E は単位行列、 0 は零行列で、剛性行列の2行目と2列目の小行列は対角小行列以外すべて 0 とする。式(8)を解けば $D_2 = \Delta_2$ と他の節点変位が求められる。この解を次式に代入して Q_2 が得られる。

$$Q_2 = \sum_{j=1}^n K_{2j} D_j - P_2 + F_2^0 \quad (9)$$

節点2の反力 R_2 は式(9)で $Q_2 = R_2$ として求められる。部材端力については、式(6)によって D_i を d_a 又は d_b に逆変換し、これらを式(3)に代入して f_a, f_b を求める。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを第3.4-1図に示す。



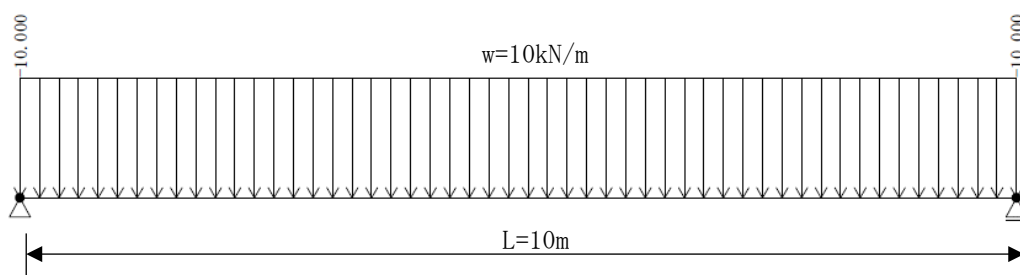
第3.4-1図 解析フローチャート

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

単純はりを対象とし、構造力学公式集¹⁾に基づいて算出した断面力及びたわみの最大値と、T-Frame2D-SIによる断面力及びたわみの解析結果を比較し、両者に差異が無いことを検証する。

(1) 理論値比較用モデル概要

比較用モデルは10m間隔で設置された支点上に、第3.5-1表に示した断面諸元を有するH型部材(H-300×300×10×15)が設置された単純はりとする。また、荷重は鉛直方向に10kN/mの等分布荷重が載荷されているものとする。モデルの概要を第3.5-1図に示す。



第 3.5-1 図 比較用モデルの概要

第 3.5-1 表 H 型部材の断面諸元

断面積 A (m ²)	断面二次モーメント I (m ⁴)	ヤング係数 E (kN/m ²)
0.01184	0.000202	2.0×10 ⁸

- (2) 構造力学公式集に基づく断面力及びたわみの最大値の算出
構造力学公式集に基づき、断面力及びたわみの最大値の算出を行う。

最大曲げモーメント

$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{10[\text{kN/m}] \times (10[\text{m}])^2}{8} = 125.0[\text{kN}\cdot\text{m}]$$

最大せん断力

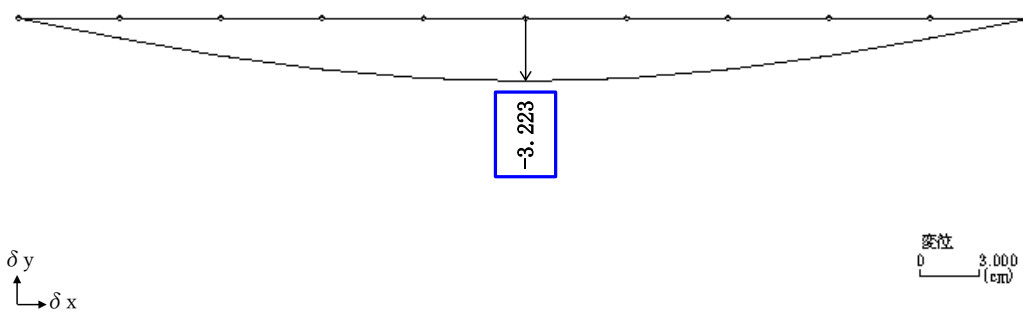
$$S = \frac{wL}{2} = \frac{10[\text{kN/m}] \times 10[\text{m}]}{2} = 50.0[\text{kN}]$$

最大たわみ

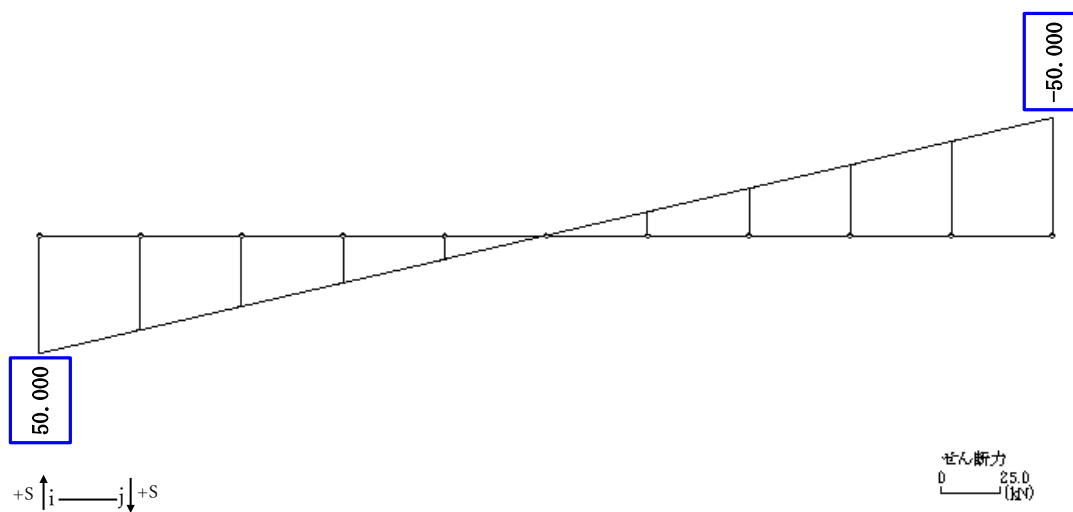
$$\delta = \frac{5wL^4}{384EI} = \frac{5 \times 10[\text{kN/m}] \times (10[\text{m}])^4}{384 \times 2.0 \times 10^8[\text{kN/m}^2] \times 0.000202[\text{m}^4]} = 3.223 \times 10^{-2}[\text{m}] = 32.23[\text{mm}]$$

(3) T-Frame2D-SIによる解析結果

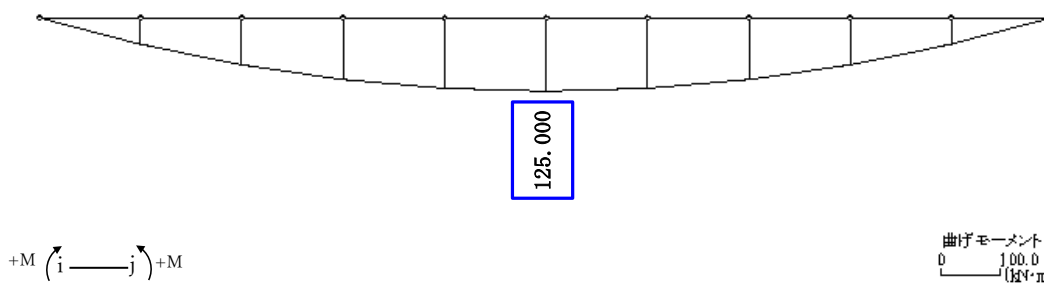
T-Frame2D-SIによる解析結果について、第3.5-2図～第3.5-4図および第3.5-2表、第3.5-3表に示す。



第 3.5-2 図 変位図



第 3.5-3 図 せん断力図



第 3.5-4 図 曲げモーメント図

第 3.5-2 表 T-Frame2D-SI による変位

節点番号	距離 (m)	水平変位 δx (m)	鉛直変位 δy (m)	回転変位 θz (rad)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	回転変位 θz (mrad)
1	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.031E-02	0.000	0.000	10.314
2	1.0	0.000E+00	-1.012E-02	9.736E-03	0.000	-10.118	9.736
3	2.0	0.000E+00	-1.914E-02	8.168E-03	0.000	-19.142	8.168
4	3.0	0.000E+00	-2.621E-02	5.858E-03	0.000	-26.207	5.858
5	4.0	0.000E+00	-3.069E-02	3.053E-03	0.000	-30.693	3.053
6	5.0	0.000E+00	-3.223E-02	1.150E-17	0.000	-32.230	0.000
7	6.0	0.000E+00	-3.069E-02	-3.053E-03	0.000	-30.693	-3.053
8	7.0	0.000E+00	-2.621E-02	-5.858E-03	0.000	-26.207	-5.858
9	8.0	0.000E+00	-1.914E-02	-8.168E-03	0.000	-19.142	-8.168
10	9.0	0.000E+00	-1.012E-02	-9.736E-03	0.000	-10.118	-9.736
11	10.0	0.000E+00	0.000E+00	-1.031E-02	0.000	0.000	-10.314

-32.230 : 最大値

第 3.5-3 表 T-Frame2D-SI による断面力

要素番号	距離 (m)	着目点	節点番号	曲げモーメント M (kNm)	せん断力 Q (kN)	軸力 N (kN)
1	0.0	I端	1	0.000	50.000	0.000
	1.0	J端	2	45.000	40.000	0.000
2	1.0	I端	2	45.000	40.000	0.000
	2.0	J端	3	80.000	30.000	0.000
3	2.0	I端	3	80.000	30.000	0.000
	3.0	J端	4	105.000	20.000	0.000
4	3.0	I端	4	105.000	20.000	0.000
	4.0	J端	5	120.000	10.000	0.000
5	4.0	I端	5	120.000	10.000	0.000
	5.0	J端	6	125.000	0.000	0.000
6	5.0	I端	6	125.000	0.000	0.000
	6.0	J端	7	120.000	-10.000	0.000
7	6.0	I端	7	120.000	-10.000	0.000
	7.0	J端	8	105.000	-20.000	0.000
8	7.0	I端	8	105.000	-20.000	0.000
	8.0	J端	9	80.000	-30.000	0.000
9	8.0	I端	9	80.000	-30.000	0.000
	9.0	J端	10	45.000	-40.000	0.000
10	9.0	I端	10	45.000	-40.000	0.000
	10.0	J端	11	0.000	-50.000	0.000
MAX	5.0	-	-	125.000	50.000	0.000
MIN	0.0	-	-	0.000	-50.000	0.000

: 最大値

(4) 比較結果

単純はりに生ずる断面力及びたわみについて、構造力学公式集¹⁾に基づく理論値の算出結果とT-Frame2D-SIによる解析結果の比較結果を第3.5-4表に示す。第3.5-4表より、T-Frame2D-SIによる解析結果は理論値と一致することを確認した。

第 3.5-4 表 比較結果

	理論値	T-Frame2D-SI
最大曲げモーメント	125.0 kN・m	125.0 kN・m
最大せん断応力	50.0 kN	50.0 kN
最大たわみ	32.2 mm	32.2 mm

以上より、本解析コードの解析結果は、曲げモーメント、せん断力、たわみにおいて構造力学公式集¹⁾による計算結果と一致していることから、本解析コードを構造物の耐震性の計算に適用することは妥当である。

参考文献

1) 構造力学公式集，土木学会，1986

別紙 37 (MSC NASTRAN)

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
IV-2-1-1-3-1	高レベル廃液ガラス固化建屋/前処理建屋/分離建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋/使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水冷却塔B（基礎）の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 2021. 3
IV-2-1-1-3-3	制御建屋/分析建屋/低レベル廃棄物処理建屋/チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 2012. 1. 0
IV-2-1-1-3-4	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋/ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋/ウラン脱硝建屋/ウラン酸化物貯蔵建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 2012r2
IV-2-1-1-3-5	第1 ガラス固化体貯蔵建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 2012r2
IV-2-1-1-3-7	ハル・エンドピース貯蔵建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 2012r2
IV-5-2-1-3-4	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋/ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋/ウラン脱硝建屋/ウラン酸化物貯蔵建屋の地下水排水設備のの基準地震動 S_s を 1. 2 倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 2012r2
IV-5-2-1-3-5	第1 ガラス固化体貯蔵建屋の地下水排水設備のの基準地震動 S_s を 1. 2 倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 2012r2

2. 解析コードの概要

コード名 項目	MSC NASTRAN
開発機関	The MacNeal-Schwendler Corporation (現 MSC Software Corporation)
開発時期	1971 年 (一般商用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2012. 1. 0, 2012r2, 2021. 3
使用目的	弾性応力解析
コードの概要	<p>MSC NASTRAN (以下, 「本解析コード」という。) は, 航空機の機体強度解析用として開発された有限要素法による汎用解析計算機コードである。</p> <p>動的解析, 静的解析, 熱伝導解析等の機能を有し, 固有振動数, 刺激係数及び応力等の算定が可能である。</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"> ・関西電力株式会社の高浜発電所 3 号機にて, 類似した使用目的の解析に使用されており, 実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは, 上記の先行施設にて使用しているもの (Ver. 2012. 1. 0) と異なるものがあるが, バージョンの違いにおいて解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・本申請における使用目的と類似した確認として, 弾性応力解析に対して本解析コードと理論解との比較を実施し, 本解析コードが理論解と同等の解を与えることを確認していることから, 本解析コードを本申請における弾性応力解析に使用することは妥当である。

別紙 38 (TDAPⅢ)

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1-3-1	高レベル廃液ガラス固化建屋/前処理建屋/分離建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋/使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水冷却塔B(基礎)の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1-3-4	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋/ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋/ウラン脱硝建屋/ウラン酸化物貯蔵建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 3.07
IV-2-1-1-3-6	非常用電源建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 3.07
IV-2-4-1-1-3-1 別紙1	高レベル廃液ガラス固化建屋/前処理建屋/分離建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋/使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水冷却塔B(基礎)の地下水排水設備の一関東評価用地震動(鉛直)に関する影響評価	Ver. 3.07
IV-2-4-1-1-3-1 別紙4	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋/ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋/ウラン脱硝建屋/ウラン酸化物貯蔵建屋の地下水排水設備の一関東評価用地震動(鉛直)に関する影響評価	Ver. 3.07
IV-5-2-1-3-1	高レベル廃液ガラス固化建屋/前処理建屋/分離建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋の地下水排水設備の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 3.07
IV-5-2-1-3-4	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋/ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋/ウラン脱硝建屋/ウラン酸化物貯蔵建屋の地下水排水設備の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 3.07

2. 解析コードの概要

コード名 項目	TDAPⅢ
開発機関	大成建設株式会社, 株式会社アーク情報システム
開発時期	1980年代後半
使用したバージョン	Ver. 3.07
使用目的	応力解析
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下、「本解析コード」という。）は、静荷重（節点力、静的震度、強制変形）及び動荷重（節点加振力、強制変位・速度・加速度、地震動入力）を扱うことができる構造解析の汎用解析コードである。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。</p> <p>土木及び建築分野に特化した要素群及び材料非線形モデルを数多くサポートしていることが特徴で、日本国内では、官公庁、大学及び民間を問わず、多くの利用実績がある。</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の検証として、実績ある解析コードと同一諸元による応力解析を行い、算定結果が一致す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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・九州電力株式会社川内1号機の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているもの(Ver. 3.05)と異なるが、バージョンアップに伴う変更点は、今回の解析に使用していない材料や要素の追加及び出力関連の機能の追加に関するものであり、今回の解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と類似した検証として、弾性応力解析に対して本解析コードと実績ある他コードとの比較を実施し、本解析コードが他コードと同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における応力解析に使用することは妥当である。

別紙 39 (SuperFLUSH/2D)

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1-3-2	精製建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 6.1
IV-2-1-1-3-4	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋/ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋/ウラン脱硝建屋/ウラン酸化物貯蔵建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 6.1
IV-2-1-1-3-5	第1 ガラス固化体貯蔵建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 6.1
IV-2-1-1-3-6	非常用電源建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 6.1
IV-2-1-1-3-7	ハル・エンドピース貯蔵建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 6.1
IV-2-1-1-3-8	緊急時対策建屋/第1 保管庫・貯水所/第1 軽油貯槽（基礎）/重油貯槽（基礎）の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 6.1
IV-2-1-1-3-9	第2 保管庫・貯水所/第2 軽油貯槽（基礎）の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 6.1

2. 解析コードの概要

コード名 項目	SuperFLUSH/2D
開発機関	株式会社地震工学研究所／株式会社構造計画研究所
開発時期	1983 年
使用したバージョン	Ver. 6. 1
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
コードの概要	<p>SuperFLUSH/2D は、地盤，構造系地震応答解析の汎用市販コードである。</p> <p>複素応答に基づいた有限要素法を用いた SuperFLUSH/2D は 1974 年の LUSH 及び 1975 年にカリフォルニア大学から発表された FLUSH の改良版である。</p> <p>本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、建築、土木等の構造物の地盤と構造物の地震応答解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> ・水平成層地盤モデルによる地震応答解析結果が別コードによる解析結果と一致することを確認している。 ・開発機関から提示された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。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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"> ・東北電力株式会社女川 2 号機の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・検証の内容のとおり、水平成層地盤モデルによる地震応答解析結果が別コードによる解析結果と一致することを確認していることから、本解析コードを本申請における 2次元有限要素法による地震応答解析に使用することは妥当である。

別紙 40 (NUPP4)

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1-3-2	精製建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 1.4.13
IV-2-1-1-3-8	緊急時対策建屋/第1保管庫・貯水所/第1軽油貯槽(基礎)/重油貯槽(基礎)の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 1.4.13
IV-2-1-1-3-9	第2保管庫・貯水所/第2軽油貯槽(基礎)の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 1.4.13
IV-5-2-1-3-2	精製建屋の地下水排水設備の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 1.4.13
IV-5-2-1-3-6	緊急時対策建屋/第1保管庫・貯水所/第1軽油貯槽(基礎)/重油貯槽(基礎)の地下水排水設備の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 1.4.13
IV-5-2-1-3-7	第2保管庫・貯水所/第2軽油貯槽(基礎)の地下水排水設備の基準地震動 S_s を1.2倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 1.4.13

2. 解析コードの概要

コード名 項目	NUPP4
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. 1.4.13
使用目的	応力解析
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）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"> ・本解析コードによる固有値解析、弾性地震応答解析については、(財)原子力工学試験センターの報告書*1による解析結果と概ね一致することを確認している。 ・本解析コードによる弾塑性地震応答解析については、(財)原子力発電技術機構の報告書*2による解析結果と概ね一致す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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所の工事計画認可申請において、本申請と類似した使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているもの（Ver. 1.4.10）と異なるが、バージョンの違いにおいて解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と類似した検証として、(財)原子力工学試験センターの報告書*1及び(財)原子力発電技術機構の報告書*2による解析解を比較し、双方の解が概ね一致することを確認していることから、本解析コードを本申請における応力解析に使用することは妥当である。

- 注記 *1：質点系モデルの線形動的解析プログラムの作成 成果報告書 昭和 56 年 7 月
(財)原子力工学試験センター 原子力安全解析所
- *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

別紙 41 (KANSAS2)

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1-3-2	精製建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver.6.01
IV-2-1-1-3-8	緊急時対策建屋/第1保管庫・貯水所/第1軽油貯槽(基礎)/重油貯槽(基礎)の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver.6.01
IV-2-1-1-3-9	第2保管庫・貯水所/第2軽油貯槽(基礎)の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver.6.01

2. 解析コードの概要

コード名 項目	KANSAS2
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2004年
使用したバージョン	Ver. 6.01
使用目的	応力解析
コードの概要	<p>KANSAS2（以下、「本解析コード」という）は、鹿島建設により開発された3次元応力解析（FEM要素含む）の解析計算機コードである。</p> <p>本解析コードは、微小変位理論による変位法を用いて、3次元骨組（FEM要素含む）の断面力・変位を算出するための構造解析プログラムである。</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"> ・はり要素を用いた応力解析について、本解析コード（Ver.6.01）による解析結果と文献*による一般構造力学による理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致す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の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているもの同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と類似した検証として、応力解析に対して本解析コードと既往文献に添付される他コードとの比較を実施し、同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを応力解析に使用することは妥当である。

注記 *：成岡昌夫，服部正他：コンピュータによる構造工学講座Ⅱ-1-B，日本鋼構造協会編，骨組構造解析，培風館，昭和46年6月，pp.20～33

別紙 42 (NAPISOS)

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV - 2 - 1 - 1 - 3 - 3	制御建屋/分析建屋/低レベル廃棄物処理建屋/チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の地下水排水設備の耐震性に関する計算書	Ver. 2.0
IV - 5 - 2 - 1 - 3 - 3	制御建屋/分析建屋の地下水排水設備の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対する耐震性に関する計算書	Ver. 2.0

2. 解析コードの概要

コード名 項目	NAPISOS
開発機関	電力中央研究所，株式会社竹中工務店
開発時期	1996 年
使用したバージョン	Ver. 2.0
使用目的	応力解析
コードの概要	<p>NAPISOS（以下、「本解析コード」という。）は、3次元構造物の静的及び動的解析を行う汎用プログラムである。</p> <p>地盤をソリッド要素で、建屋を非線形積層シェル要素や非線形ビーム要素でモデル化することにより、建屋の地盤建屋連成系3次元非線形地震応答解析が可能である。また、静荷重として強制変位を扱うことができ、時刻歴応答変位法による解析が可能である。</p> <p>日本国内の原子力関連施設等での多くの利用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> ・1質点系モデルについて、本解析コードで地震応答解析を行った解析解と、Nigam-Jenningsの理論式による理論解を比較し、解析解と理論解が一致することを確認している。また、地震応答解析に対して、原子力産業界において使用実績のあるTDASを用いた解析解と、本解析コードによる解析解を比較したベンチマーキングを行った結果、双方の解が概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)】</p> <p>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"> ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽7号機の工事計画認可申請において、本申請と類似した使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と類似した検証として、質点系モデルによる地震応答解析に対して本解析コードと理論解及び他コードの解析解との比較を実施し、本解析コードが理論解及び他解析コードと同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における応力解析に使用することは妥当である。

別紙 43 FLIP

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

	使用添付書類	バージョン
IV-2-2-2-1-1-4-1	飛来物防護ネット（使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔 A）の地震応答計算書	Ver. 7. 4. 1
IV-2-2-2-1-1-5-1	飛来物防護ネット（使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔 B）の地震応答計算書	Ver. 7. 4. 1

建設設工認

	使用添付書類	バージョン
IV-2-2-2-1-1-6-1	飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 A）の地震応答計算書	Ver. 7. 4. 1
IV-2-2-2-1-1-7-1	飛来物防護ネット（第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔 A）及び（第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔 B）の地震応答計算書	Ver. 7. 4. 1
IV-2-2-2-1-1-8-1	飛来物防護板（主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り）（東ブロック）及び（西ブロック）の地震応答計算書	Ver. 7. 4. 1
IV-5-2-3-1-6-1	飛来物防護板（主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り）（東西ブロック）の地震応答計算書	Ver. 7. 4. 1

安
ユ
コ
A

2. 解析コードの概要

コード名 項目	FLIP
開発機関	FLIP コンソーシアム
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Ver. 7. 4. 1
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析 (全応力・有効応力)
コードの概要	<p>有効応力解析コード FLIP (Finite element analysis program of Liquefaction Process) は、1988 年に運輸省港湾技術研究所 (現：(独) 港湾空港技術研究所) において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく、2次元地震応答解析プログラムである。</p> <p>地盤の過剰間隙水圧の上昇を適切に考慮できる解析コードとして、港湾の施設の設計を中心に数多くの実績を有しており、FLIP の主な特徴として、以下の①～⑤を挙げることができる。</p> <p>①有限要素法に基づくプログラムである。</p> <p>②平面ひずみ状態を解析対象とする。</p> <p>③地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析を行い、部材断面力や変形等を計算する。</p> <p>④土の応力-ひずみモデルとして、マルチスプリング・モデルを採用している。</p> <p>⑤有効応力の変化は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧算定モデルとして井合モデルを用いている。</p>

項目	コード名 FLIP
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"> ・マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が提示解と一致す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、開発機関から提示された要件を満足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、港湾施設の設計に用いられる「港湾の施設の技術上の基準・同解説(2007)(日本港湾協会)」において、有効応力解析に対しての適用性が確認されている解析コードとして扱われている。 ・本解析コードは、海岸構造物で多くの適用実績があるものの、その適用範囲が海岸構造物に限定されるものではないことを確認している。 ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽発電所7号機の工事計画認可申請において、屋外重要土木構造物などの地震応答解析(全応力・有効応力)に本解析コード(Ver. 7. 4. 1)が使用された実績があることを確認している。 ・本申請における2次元有限要素法による地震応答解析(全応力・有効応力)という使用目的に対し、本解析コードの使用用途及び使用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。

別紙 44 midas iGen

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

	使用添付書類	バージョン
IV-2-2-2-1 -1-4-2	飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水系冷却塔A)の耐震計算書	Ver. 845
IV-2-2-2-1 -1-5-2	飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水系冷却塔B)の耐震計算書	Ver. 845

建設設工認

	使用添付書類	バージョン
IV-2-2-2-1 -1-6-2	飛来物防護ネット(再処理設備本体用安全冷却水系冷却塔A)の耐震計算書	Ver. 845
IV-2-3-1-1 別紙2-1	飛来物防護ネット(再処理設備本体用安全冷却水系冷却塔A)	Ver. 845
IV-2-3-1-1 別紙2-9	飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水系冷却塔A)の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 845
IV-2-3-1-1 別紙2-10	飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水系冷却塔B)の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 845

2. 解析コードの概要

コード名 項目	midas iGen
開発機関	MIDAS IT
開発時期	1990年代前半
使用したバージョン	Ver. 845
使用目的	静的解析
コードの概要	midas iGen(以下, 「本解析コード」という。)は, 建築分野に特化した要素群及び材料非線形モデルを数多くサポートしている構造解析用の汎用計算機プログラムである。
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"> 本解析コードによる解析の検証として, 実績ある別計算機コード「汎用計算機コード(TDAPⅢ)」による同一諸元のフレームモデルを用いた静的解析を行い, 算定結果が概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"> 日本原電株式会社東海第二発電所の工事計画認可申請において, 本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 本申請において使用するバージョンは, 上記の先行施設にて使用しているもの(Ver. 860)と異なるが, バージョンアップに伴う変更点は, 今回の解析に使用していない解析機能の拡張, 材料の追加及び計算パフォーマンスの向上等に関するものであり, 解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 上述の検証の内容のとおり, 本申請における使用目的と整合した検証として, 静的解析に対して本解析コードと実績ある他コードとの比較を実施し, 本解析コードが他コードと同等の解を与えることを確認していることから, 本解析コードを本申請における静的解析に使用することは妥当である。

別紙 45 TDAPⅢ

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-2-2 -1-1-7- 2	飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用安全冷却水系冷却塔A)の耐震計算書	Ver. 3.09
IV-2-2-2 -1-1-7- 3	飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用安全冷却水系冷却塔B)の耐震計算書	Ver. 3.09
IV-2-3-1 -1 別紙2- 2	飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用安全冷却水系冷却塔A)	Ver. 3.09
IV-2-2-2 -1-1-8- 2	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)(東ブロック)の耐震計算書	Ver. 3.07
IV-2-2-2 -1-1-8- 3	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)(西ブロック)の耐震計算書	Ver. 3.07
IV-2-2-2 -1-1-9- 1	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)(中央ブロック)の地震応答計算書	Ver. 3.07
IV-2-3-1 -1 別紙2- 3	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)(東ブロック)	Ver. 3.07
IV-2-3-1 -1 別紙2- 4	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)(西ブロック)	Ver. 3.07
IV-2-3-1 -1 別紙2- 5	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)(中央ブロック)	Ver. 3.07
IV-5-2-3 -1-6-2	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)(東ブロック)の耐震計算書	Ver. 3.07
IV-5-2-3 -1-6-3	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)(西ブロック)の耐震計算書	Ver. 3.07
IV-5-2-3 -1-7-1	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)(中央ブロック)の地震応答計算書	Ver. 3.07

2. 解析コードの概要

コード名 項目	TDAPⅢ
開発機関	大成建設株式会社, 株式会社アーク情報システム
開発時期	1980年代後半
使用したバージョン	Ver. 3.07, 3.09
使用目的	固有値解析, 地震応答解析, 応力解析
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下、「本解析コード」という。）は、静荷重（節点力、静的震度、強制変形）及び動荷重（節点加振力、強制変位・速度・加速度、地震動入力）を扱うことができる構造解析の汎用解析コードである。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。</p> <p>土木及び建築分野に特化した要素群及び材料非線形モデルを数多くサポートしていることが特徴で、日本国内では、官公庁、大学及び民間を問わず、多くの利用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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の検証として、実績ある解析コードと同一諸元による固有値解析、地震応答解析及び応力解析を行い、算定結果が一致す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)】</p> <p>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"> ・九州電力株式会社川内1号機の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているもの（Ver. 3.05）と異なるが、バージョンアップに伴う変更点は、今回の解析に使用していない材料や要素の追加及び出力関連の機能の追加に関するものであり、今回の解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、固有値解析、地震応答解析及び弾性応力解析に対して本解析コードと実績ある他コードとの比較を実施し、本解析コードが他コードと同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における固有値解析、地震応答解析及び弾性応力解析に使用することは妥当である。

別紙 46 (MSC NASTRAN)

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-2-2-1-1-4-2	飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用安全冷却水系冷却塔A)の耐震計算書	Ver. 2021. 3
IV-2-2-2-1-1-5-2	飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔 B) の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-2-2-1-1-8-2	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)(東ブロック)の耐震計算書	Ver. 2008 r1
IV-2-2-2-1-1-8-3	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)(西ブロック)の耐震計算書	Ver. 2008 r1

安ユ A

2. 解析コードの概要

コード名 項目	MSC NASTRAN
開発機関	The MacNeal-Schwendler Corporation (現 MSC Software Corporation)
開発時期	1971 年 (一般商用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2008 r1, 2013. 1. 1, 2021. 3
使用目的	弾性応力解析
コードの概要	<p>MSC NASTRAN (以下, 「本解析コード」という。) は, 航空機の機体強度解析用として開発された有限要素法による汎用解析計算機コードである。</p> <p>動的解析, 静的解析, 熱伝導解析等の機能を有し, 固有振動数, 刺激係数及び応力等の算定が可能である。</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"> ・関西電力株式会社の高浜発電所 3 号機にて, 同じ使用目的の解析に使用されており, 実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは, 上記の先行施設にて使用しているもの (Ver. 2012. 1. 0) と異なるが, バージョンの違いにおいて解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・本申請における使用目的と整合した確認として, 弾性応力解析に対して本解析コードと理論解との比較を実施し, 本解析コードが理論解と同等の解を与えることを確認していることから, 本解析コードを本申請における弾性応力解析に使用することは妥当である。

別紙 47 NX Nastran

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-2-2 -1-1-10	飛来物防護板（主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外）の耐震計算書	Ver. 7.1
IV-2-2-2 -1-1-11	飛来物防護板（主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外）の耐震計算書	Ver. 7.1
IV-2-2-2 -1-1-12	飛来物防護板（主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外）の耐震計算書	Ver. 7.1
IV-2-3-1 -1 別紙 2-6	飛来物防護板（主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外）	Ver. 7.1
IV-2-3-1 -1 別紙 2-7	飛来物防護板（主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外）	Ver. 7.1
IV-2-3-1 -1 別紙 2-8	飛来物防護板（主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外）	Ver. 7.1
IV-5-2-3 -1-8	飛来物防護板（主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外）の耐震計算書	Ver. 7.1
IV-5-2-3 -1-9	飛来物防護板（主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外）の耐震計算書	Ver. 7.1
IV-5-2-3 -1-10	飛来物防護板（主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外）の耐震計算書	Ver. 7.1

安
ユ
A

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NX Nastran
開発機関	Siemens PLM(Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年 (The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年 (Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver. 7.1
使用目的	3次元有限要素法による固有値解析, 応力解析
コードの概要	<p>NX Nastran (以下「本解析コード」という。) は, 航空機の機体強度解析を目的として The MacNeal-Schwendler Corporation により開発され, Siemens PLM Software Inc. に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり, MSC NASTRAN と同じ機能を持つ。</p> <p>適用モデル (主にはり要素, シェル要素, ソリッド要素) に対して, 静的解析 (線形, 非線形), 動的解析 (過渡応答解析, 周波数応答解析), 固有値解析, 伝熱解析 (温度分布解析), 熱応力解析, 線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木など様々な分野の構造解析に使用されている。</p>

(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 構造力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた3次元有限要素法による固有値解析、応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致す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、開発機関から提示された要件を満足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">・ 関西電力株式会社高浜発電所一号機において、使用済み燃料ピット竜巻飛来物防護対策設備の3次元有限要素法による固有値解析、応力解析に本解析コードが使用された実績がある。・ 本申請において使用するバージョンは、上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。・ 上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、3次元有限要素法による固有値解析、応力解析に対して本解析コードと理論解との比較を実施し、本解析コードが理論解と同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における3次元有限要素法による固有値解析、応力解析に使用することは妥当である。
--	--

別紙 48 DYN2E

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-2-2 -1-1-6-1	北換気筒の地震応答計算書	Ver. 8.1.0
IV-2-2-2 -1-1-6-2	北換気筒の耐震計算書	Ver. 8.1.0

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-3-1 -1 別紙 2-1 1 1	北換気筒の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 8.1.0
IV-5-2-3 -1-1 1-1	北換気筒の地震応答計算書	Ver. 8.1.0
IV-5-2-3 -1-1 1-2	北換気筒の耐震計算書	Ver. 8.1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	DYNA2E
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2018 年（初版開発時期 1972 年）
使用したバージョン	Ver. 8.1.0
使用目的	固有値解析，地震応答解析，静的応力解析
コードの概要	<p>DYNA2E（以下「本解析コード」という。）は，土木・建築分野における骨組解析を対象として開発された，市販されている汎用構造解析コードである。</p> <p>本解析コードは，2 次元／3 次元の骨組構造物に対し，静的な節点力が入力された場合の構造物の変位及び断面力を求めるための静的応力解析，固有周期，固有振動モード及びモード減衰定数等を算出する固有値解析，モード法，直接積分法，複素応答法及び周波数応答法による線形動的応答解析，直接積分法による非線形動的応答解析を行うことができる。</p> <p>橋梁，建築，機器構造物，原子力建屋等で豊富な解析実績を有する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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の検証として，実績ある別解析コードと同一諸元による固有値解析，地震応答解析及び静的応力解析を行い，算定結果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用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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"> ・東北電力株式会社女川原子力発電所 2 号機の工事計画認可申請において，本申請と同じ使用目的での実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは，上記の先行施設にて使用しているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり，本申請における使用目的と整合した検証として，固有値解析，地震応答解析及び静的応力解析に対して本解析コードと実績ある他コードとの比較を実施し，本解析コードが他コードと同等の解を与えることを確認していることから，本解析コードを本申請における固有値解析，地震応答解析及び静的応力解析に使用することは妥当である。

IV - 6 - 2
機器・配管系

目 次

	ページ
別紙 1 FACT-B	1-1
別紙 2 SPAN2000	2-1
別紙 3 MSC NASTRAN	3-1
別紙 4 NX NASTRAN	4-1
別紙 5 ABAQUS	5-1
別紙 6 HISAP	6-1
別紙 7 HISAP-V	7-1
別紙 8 ISAP	8-1
別紙 9 MSAP	9-1
別紙 10 NSAFE	10-1
別紙 11 SAP-IV	11-1
別紙 12 SOLVER	12-1

別紙1 FACT-B

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-1-1-6 別紙1	安全機能を有する施設の設計用床応答曲線	V1.3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FACT-B
開発機関	辰星技研株式会社
開発時期	2016 年
使用したバージョン	V1.3
使用目的	設計用床応答曲線作成
コードの概要	<p>FACT-B（以下「本解析コード」という。）は、加速度時刻歴から床応答スペクトルを作成するプログラムであり、建物・構築物の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>一定の固有周期及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、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、また床応答スペクトルの拡張を行う。</p> <p>本解析コードは、設計用床応答曲線を作成するために開発したハウスコードである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> ・ 発電炉にて使用実績がある別解析コード「FACS」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)】</p> <p>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"> ・ 本申請で使用する床応答スペクトルの作成機能は、理論モデルをそのままコード化したものであり、拡張機能及び包絡機能を含め使用実績がある別解析コードとの比較により妥当性は確認している。 ・ 床応答スペクトルを作成する際、入力する加速度時刻歴データの時間刻み幅、データの形式については、使用実績がある別解析コードとの比較により妥当性を確認した範囲内にて使用している。 ・ ±10%拡張、時刻歴波の時間刻み及び固有周期計算間隔は JEAG4601-1987 に従っており、妥当性は確認している。

別紙2 SPAN2000

1. 使用状況一覧

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-1-1-11-1 別紙1-1	使用済燃料受入・貯蔵建屋の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-2	安全冷却水冷却塔A基礎の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-3	安全冷却水冷却塔B基礎の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-4	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/安全冷却水系冷却塔A,B基礎間洞道の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-5	前処理建屋の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-12	主排気筒(基礎)の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-13	主排気筒(筒身)の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-14	非常用電源建屋の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-15	非常用電源建屋燃料油貯蔵タンクA,B基礎の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-16	非常用電源建屋用安全冷却水冷却塔A,B基礎の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-17	安全冷却水A冷却塔の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-18	安全冷却水B冷却塔の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-19	冷却塔の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-20	飛来物防護ネット(再処理設備本体用安全冷却水系冷却塔A)の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-21	前処理建屋/分離建屋/精製建屋/高レベル廃液ガラス固化建屋/ウラン・プルトニウム合脱硝建屋/制御建屋/非常用電源建屋/冷却水設備の安全冷却水系/主排気筒/主排気筒管理建屋間洞道の直管部標準支持間隔	
IV-1-1-11-1 別紙1-22	分離建屋/高レベル廃液ガラス固化建屋間洞道,分離建屋/精製建屋間洞道,精製建屋/ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋間洞道間洞道の直管部標準支持間隔	

安ユ A

2. 解析コードの概要

コード名 項目	SPAN2000
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	■■■■
使用したバージョン	■■■■
使用目的	等分布質量連続はり要素による耐震最大支持間隔算出
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> SPAN2000(以下、「本解析コード」という。)は、配管等の耐震設計に活用することを目的として三菱重工業株式会社が開発したものである。 配管直管部(一般部)について、発生応力、固有振動数等が許容値や制限値を超えない範囲における最大長さを標準支持間隔として求めることが可能であり、加圧水型原子力発電設備において、多くの使用実績を有している。

(つづき)

<p>検 証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>本解析コードは、配管を等分布質量連続はりモデル化し、許容値や制限値を超えない範囲における最大の支持間隔を求めるために使用している。</p> <p>【検証(Verification)】</p> <ul style="list-style-type: none">・等分布質量連続はりモデルによる配管直管部(一般部)の耐震最大支持間隔算出、及びそれに発生する一次応力の算出について、入力データ ██████████ に対する応力算出結果において、解析解と理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。また、固有振動数に関しても、上記検証において、解析解と理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。・地震動の組合せ処理に関しては、本解析コード内で処理しており、アウトプットファイルと理論計算結果が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、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <ul style="list-style-type: none">・日本原子力発電株式会社「東海第2発電所」において、本解析コードが使用された実績がある。・耐震最大支持間隔算出は、JEAG4601-1987の定ピッチスパン法に従い等分布質量連続はりにモデル化している。・本解析コードは、配管系で使用される要素形状のうち直管部の支持間隔の算出、発生応力の算出に用いられる。・今回の申請で行う支持間隔算出、発生応力算出の用途及び適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内になることを確認している。・今回の申請において使用するバージョンは、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。
---	---

別紙3 MSC NASTRAN

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-2-3	容器(中間支持型, 振れ止め付)の耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0
IV-2-1-2-2-4	冷却塔の耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0
IV-2-2-2-2-1-1	クレーンの耐震計算書	Ver. 2008. 0. 4
IV-5-2-3-2-1-1	クレーンの耐震計算書	Ver. 2018. 2. 1

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-2-1	溶解槽の耐震計算書	Ver. 2008. 0. 0
IV-2-1-2-2-2	容器の耐震計算書	Ver. 2008. 0. 0
		Ver. 2008. 0. 4
		Ver. 2018. 2. 1
IV-2-1-2-2-3	洗浄槽の耐震計算書	Ver. 2008. 0. 0
IV-2-1-2-2-4	遠心清澄機の耐震計算書	Ver. 2012. 2. 0
		Ver. 2018. 2. 1
IV-2-1-2-2-5	容器(下部支持型, コイル付)の耐震計算書	Ver. 2012. 2. 0
		Ver. 2013. 0. 0
		Ver. 2018. 2. 1
IV-2-1-2-2-6	容器(中間支持型, コイル付)の耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0
		Ver. 2012. 2. 0
		Ver. 2013. 0. 0
		Ver. 2018. 2. 1
IV-2-1-2-2-7	環状形パルスカラムの耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0 Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-2-2-8	バッファチューブ(中間支持型)の耐震計算書	Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-2-2-9	洗浄塔の耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0
		Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-2-2-10	ミキサセトラの耐震計算書	Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-2-2-11	環状形槽の耐震計算書	Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-2-2-12	分離槽の耐震計算書	Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-2-2-13	バッファチューブ(片側支持型)の耐震計算書	Ver. 2013. 0. 0

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-2-14	充てん塔の耐震計算書	Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-2-2-15	三連濃縮缶の耐震計算書	Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-2-2-16	円筒形パルスカラムの耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0 Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-2-2-17	グローブボックスの耐震計算書	Ver. 2010. 1. 3 Ver. 2013. 0. 0
IV-2-1-2-2-19	容器（中間支持型）の耐震計算書	Ver. 2012. 2. 0 Ver. 2018. 2. 1
IV-2-1-2-2-21	クーラの耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0
IV-2-1-2-2-23	ガラス溶融炉の耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0 Version 2019 Feature Pack 1
IV-2-1-2-2-24	移送台車の耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0
IV-2-1-2-2-25	通風管の耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0
IV-2-1-2-2-26	収納管の耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0
IV-2-1-2-2-27	遮蔽容器付移送台車の耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0
IV-2-1-2-2-28	遮蔽容器付クレーンの耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0
IV-2-1-2-2-29	冷却塔の耐震計算書	Ver. 2008. 0. 0 Ver. 2008. 0. 4
IV-2-1-2-3-1	配管の耐震計算書	Ver. 2013. 0. 0
IV-2-2-2-2-2-2	容器(中間支持型, コイル付)の耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0
IV-2-2-2-2-2-4	グローブボックスの耐震計算書	Ver. 2010. 1. 3 Ver. 2013. 0. 0
IV-2-2-2-2-2-6	クレーンの耐震計算書	Ver. 2011. 1. 0 Ver. 2013. 1. 1 Ver. 2018. 2. 1
IV-2-2-2-2-2-8	バーナブルポイズン切断装置の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 1
IV-2-2-2-2-2-9	シュートの耐震計算書	Ver. 2008. 0. 0 Ver. 2014. 1. 0

使用添付書類		バージョン
IV-3-2-1	火災感知器の耐震計算書	Ver. 2018. 2. 1
IV-5-2-3-2-2-6	バーナブルポイズン切断装置の耐震計算書	Ver. 2018. 2. 1

2. 解析コードの概要

2.1 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 0

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2008. 0. 0
使用目的	3次元有限要素法による応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> MSC NASTRAN（以下、「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木など様々な分野の構造解析に使用されている。
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"> 構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について、本解析コードを用いた3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致す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、開発機関から提示された要件を満足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"> 日本原子力発電株式会社「東海第2発電所」において、主排気筒の固有値解析及び応力解析に本解析コードが使用された実績がある。 検証の体系と今回申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって解析機能の妥当性も確認できる。 今回の申請において使用するバージョンは、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。 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが、使用した要素数は適用制限以下であり、本申請における使用用途及び使用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 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 4

コード名	MSC NASTRAN
項目	
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2008. 0. 4
使用目的	3次元有限要素法による応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ MSC NASTRAN（以下、「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 ・ 適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。 ・ 数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木など様々な分野の構造解析に使用されている。
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"> ・ 構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について，本解析コードを用いた3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致す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，開発機関から提示された要件を満足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"> ・ 日本原子力発電株式会社「東海第2発電所」において，使用済燃料乾式貯蔵建屋の静的応力解析及び動的応力解析に本解析コードが使用された実績がある。 ・ 検証の体系と今回申請で使用する体系が同等であることから，検証結果をもって解析機能の妥当性も確認できる。 ・ 今回の申請において使用するバージョンは，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。 ・ 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが，使用した要素数は適用制限以下であり，本申請における使用用途及び使用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。

2.3 MSC NASTRAN Ver. 2018. 2. 1

コード名	MSC NASTRAN
項目	
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2018. 2. 1
使用目的	3次元有限要素法による応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> MSC NASTRAN（以下、「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 適用モデル（主にははり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木など様々な分野の構造解析に使用されている。
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"> 構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について、本解析コードを用いた3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致す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、開発機関から提示された要件を満足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"> 東京電力株式会社の「柏崎刈羽原子力発電所7号機」において、原子炉建屋内の設備の3次元有限要素法（はりモデル）による固有値解析に本解析コード（Ver. 2018. 2. 1）が使用された実績がある。 検証の体系と今回申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって解析機能の妥当性も確認できる。 今回の申請において使用するバージョンは、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。 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが、使用した要素数は適用制限以下であり、本申請における使用用途及び使用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。

2.4 MSC NASTRAN Ver. 2010. 1. 3

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC. Software Corporation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2010. 1. 3
使用目的	3次元有限要素法による静的・動的解析
コードの概要	<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木など様々な分野の構造解析に使用されている。</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"> ・ 構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致す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、開発機関から提示された要件を満足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、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 東京電力ホールディングス株式会社の「柏崎刈羽原子力発電所7号機」において、原子炉建屋内の設備の3次元有限要素法（はりモデル）による固有値解析に本解析コード（Ver. 2008. 0. 4）が使用された実績がある。 ・ 今回の工事計画認可申請において使用するバージョンは、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有る変更が行われていないことを確認している。 ・ 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが、使用した要素数は適用制限以下であり、今回の解析に使用することは妥当である。

2.5 MSC NASTRAN Ver.2011.1.0

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC. Software Corpoation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Version 2011.1.0
使用目的	3次元有限要素法(シェル又ははり要素)による 固有値解析，応力解析
コードの概要	MSC NASTRAN(以下「本解析コード」という。)は，世界で圧倒的なシェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。
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"> ・材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について，3次元有限要素法(シェルモデル又ははりモデル)による固有値解析及び応力解析を行い，解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの適用環境について，開発機関から提示された要件を満足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，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所の工事計画認可申請において，原子炉建屋内の設備の3次元有限要素法（シェルモデル又ははりモデル）による応力解析に使用された実績がある。 ・本申請において使用するバージョンは，使用実績のものと異なるが，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。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本申請で使用する3次元有限要素法(シェル又ははり要素)による固有値解析，応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。

(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 本申請における構造に対し使用する要素，3次元有限要素法（シェル又ははり要素）による固有値解析，応力解析の用途，適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確認している。
--	---

2.6 MSC NASTRAN Ver. 2012. 2. 0

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC. Software Corporation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2012. 2. 0
使用目的	3次元有限要素法による静的・動的解析
コードの概要	<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にははり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木など様々な分野の構造解析に使用されている。</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"> ・ 構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について，本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致す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，開発期間から提示された要件を満足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，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木及び建築などの様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・ 東京電力ホールディングス株式会社の「柏崎刈羽原子力発電所7号機」において，原子炉建屋内の設備の3次元有限要素法（はりモデル）による固有値解析に本解析コード（Ver. 2012. 1. 0）が使用された実績がある。 ・ 今回の工事計画認可申請において使用するバージョンは，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。 ・ 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが，使用した要素数は適用制限以下であり，今回の解析に使用することは妥当である。

2.7 MSC NASTRAN Ver. 2013. 0. 0

名 項目	コード MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2013. 0. 0
使用目的	3次元有限要素法による固有値解析，静的解析及び動的解析
コードの概要	<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析用として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にははり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木など様々な分野の構造解析に使用されている。</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"> 構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について，本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致す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，開発機関から提示された要件を満足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，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木などの様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 日本原子力発電株式会社の「東海第二発電所」において，原子炉周辺建屋及びその他の建物・構築物の応力解析に本解析コード（Ver. 2013）が使用された実績がある。 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが，使用した要素数は適用制限以下であり，今回の解析に使用することは妥当である。

2.8 MSC NASTRAN Ver. 2013. 1. 1

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年(一般商用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2013. 1. 1
使用目的	3次元有限要素法による固有値解析, 応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> MSC NASTRAN (以下, 「本解析コード」という。) は, 航空機の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 適用モデル (主にははり要素, シェル要素, ソリッド要素) に対して, 静的解析 (線形, 非線形), 動的解析 (過渡応答解析, 周波数応答解析), 固有値解析, 伝熱解析 (温度分布解析), 熱応力解析, 線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木など様々な分野の構造解析に使用されている。
検証(Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> 材料力学分野における一般的な知見により理論解を求めることができる体系について, 3次元有限要素法(シェル又ははり要素)による固有値解析及び応力解析(固有振動数, 荷重及び応力)について理論モデルによる理論解と解析解との比較を行い, 解析解が理論解と一致す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, 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

(つづき)

<p>検証(Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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">• 本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。• 本申請で行う解析と類似するものとして、日本原子力研究開発機構(旧日本原子力研究所)が実施したプルトニウム用グローブボックスの固有値解析、応力解析の事例がある(JAERI-M92-206)。• 開発機関が提示するマニュアルにより、本申請で使用する3次元有限要素法(シェル又ははり要素)による固有値解析、応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。• 異種要素を混成させることについては、異種要素境界でのデータ伝達が適正に行われるように接続していることを確認している。• 本申請において使用するバージョンは、既設工認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。• 本申請における構造に対し使用する要素、3次元有限要素法(シェル及びはり要素)による固有値解析、応力解析の使用目的に対し、使用用途及び使用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。
---	---

2.9 MSC NASTRAN Ver. 2014. 1. 0

コード名 項目	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2014. 1. 0
使用目的	3次元有限要素法による固有値解析および応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> MSC NASTRAN（以下、「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木など様々な分野の構造解析に使用されている。
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"> 構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について，本解析コードを用いた3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致す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，開発機関から提示された要件を満足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，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木などの様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 日本原子力発電株式会社「東海第2発電所」において，主排気筒の固有値解析及び応力解析に本解析コードが使用された実績がある。 検証の体系と今回申請で使用する体系が同等であることから，検証結果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いて使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されるものと異なるが，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おこなわれていないことを確認している。 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが，使用した要素数は適用制限以下であり，今回の解析に使用することは妥当である。

2.10 MSC NASTRAN Ver. 2019 Feature Pack1

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2019 Feature Pack1
使用目的	3次元有限要素法による静的解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> MSC NASTRAN（以下、「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木など様々な分野の構造解析に使用されている。
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"> 構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について，本解析コードを用いた3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致す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，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。• 日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、緊急用海水ポンプピット及び防波堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））における2次元有限要素法（はり、シェルモデル）による静的解析で使用された実績がある。• 今回の工事計画認可申請において使用するバージョンは、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。• 開発機関が提示するマニュアルにより、本申請で使用する3次元有限要素法(シェル要素)による静的解析に本解析コードが適用できることを確認している。• 本申請で使用するバージョンは、理論解と対応可能な簡易モデルについて、理論計算と解析結果の対比による解析結果の妥当性を確認している。• 本申請における構造に対し使用する要素、3次元有限要素法(シェル要素)による静的解析の用途、適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確認している。
--	--

別紙4 NX NASTRAN
 1. 使用状況一覧
 施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-2-2-2-1-1	クレーンの耐震計算書	Ver. 7.1

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-3-1	配管の耐震計算書	Ver. 11.0.1 Ver. 12.0.2
IV-2-2-2-2-2-6	クレーンの耐震計算書	Ver. 7.1

2. 解析コードの概要

2.1 MX NASTRAN Ver. 7.1

項目 \ コード名	NX NASTRAN
開発機関	Siemens PLM(Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年 (The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年 (Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver. 7.1
使用目的	3次元有限要素による固有値解析, 地震応答解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ NX NASTRAN (以下, 「本解析コード」という。) は, 航空機の機体強度解析を目的として The MacNeal-Schwendler Corporation により開発され, Siemens PLM Software Inc. に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり, MSC NASTRAN と同じ機能を持つ。 ・ 適用モデル (主にははり要素, シェル要素, ソリッド要素) に対して, 静的解析 (線形, 非線形), 動的解析 (過渡応答解析, 周波数応答解析), 固有値解析, 伝熱解析 (温度分布解析), 熱応力解析, 線形座屈解析等の機能を有している。 ・ 数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
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"> ・ 材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について, 3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析及び地震応答解析(固有振動数, 荷重)を行い, 解析解が理論モデルによる理論解と一致す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, 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

(つづき)

<p>検証(Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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、自動車、航空宇宙、防衛、重機、造船などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。・ 本申請で行う解析と類似するものとして、独立行政法人 原子力安全基盤機構が実施した耐震実証試験の再現解析の事例がある。具体例として、「平成18年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 耐震基準類調査のうち耐震実証試験の解析評価に係わる報告書(平成19年10月、独立行政法人 原子力安全基盤機構)」にNASTRANが用いられている。・ 開発機関が提示するマニュアルにより、本申請で使用する3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析及び地震応答解析に本解析コードが適用できることを確認している。・ 本申請で行う3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析及び地震応答解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。・ 本申請で行う解析と類似するものとして、NX NASTRAN代理店である(株)NSTが実施したタワークレーンの地震応答解析の事例がある。 (株)NSTパンフレット)・ 本申請において使用するバージョンは、既設工認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。
---	--

2.2 MX NASTRAN Ver. 11.0.1

コード名 項目	NX NASTRAN
開発機関	Siemens PLM(Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年 (The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年 (Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver. 11.0.1
使用目的	3次元有限要素法による固有値解析, 応力解析及び地震応答解析
コードの概要	<p>NX NASTRAN (以下「本解析コード」という。) は, 航空機の機体強度 解析を目的としてThe MacNeal-Schwendler Corporationにより開発され, Siemens PLM Software Inc. に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり, MSC NASTRANと同じ機能を持つ。</p> <p>適用モデル (主にははり要素, シェル要素, ソリッド要素) に対して, 静的解析 (線形, 非線形), 動的解析 (過渡応答解析, 周波数応 答解析), 固有値解析, 伝熱解析 (温度分布解析), 熱応力解析, 線 形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木など様々な分野の構造解析に使用されている。</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"> 材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について, 3次元有限要素法 (3次元シェル及びはりモデル) による固有値解析地震応答解析及び応力解析を行い, 解析解が理論解一致す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, 開発機関から提示された要件を満足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, 開発機関から提示された要件を満足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"> 本コードは, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木など様々な分野における使用実績を有しており, 妥当性は十分に確認されている。 日本原子力発電株式会社の「東海第2発電所」において, 固有値解析及び地震応答解析に本解析コード(NX Nastran Ver. 5mp1, 6.1, 8.1, 9.1)が使用された実績がある。 今回の工事計画許可申請において使用するバージョンは, 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。 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが, 使用した要素数は適用制限以下であり, 今回の解析に使用することは妥当である。

2.3 MX NASTRAN Ver. 12.0.2

コード名 項目	NX NASTRAN
開発機関	Siemens PLM(Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年 (The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年 (Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver. 12.0.2
使用目的	3次元有限要素法による固有値解析, 応力解析及び地震応答解析
コードの概要	<p>NX NASTRAN (以下「本解析コード」という。)は, 航空機の機体強度解析を目的としてThe MacNeal-Schwendler Corporationにより開発され, Siemens PLM Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり, MSC NASTRANと同じ機能を持つ。</p> <p>適用モデル (主にはり要素, シェル要素, ソリッド要素) に対して, 静的解析 (線形, 非線形), 動的解析 (過渡応答解析, 周波数応答解析), 固有値解析, 伝熱解析 (温度分布解析), 熱応力解析, 線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木など様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> 材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について, 3次元有限要素法 (3次元シェル及びはりモデル) による固有値解析地震応答解析及び応力解析を行い, 解析解が理論解一致す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, 開発機関から提示された要件を満足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, 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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"> 本コードは, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木など様々な分野における使用実績を有しており, 妥当性は十分に確認されている。 日本原子力発電株式会社の「東海第2発電所」において, 固有値解析及び地震応答解析に本解析コード(NX Nastran Ver. 5mp1, 6.1, 8.1, 9.1)が使用された実績がある。 今回の工事計画許可申請において使用するバージョンは, 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。 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが, 使用した要素数は適用制限以下であり, 今回の解析に使用することは妥当である。

別紙5 ABAQUS
 1. 使用状況一覧
 建設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-2-6	容器（中間支持型，コイル付）の耐震計算書	Ver. 2020 Ver. 6.13-1 Ver. 6.14-3
IV-5-2-2-2-6	容器（中間支持型，コイル付）の耐震計算書	Ver. 2020 Ver. 6.13-1 Ver. 6.14-3

2. 解析コードの概要

2.1 ABAQUS Ver. 2020

項目 \ コード名	Abaqus
開発機関	ダッソー・システムズ社(仏)
開発時期	1971年 (一般商用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2020
使用目的	弾塑性応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> • Abaqus (以下, 「本解析コード」という。) は, 米国 HKS (Hibbitt, Karsson&Sorensen) 社によって開発され, 現在はダッソー・システムズ社 (株) が開発・販売している有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 • 適用モデル (主にはり要素, シェル要素, ソリッド要素) に対して, 静的解析 (線形, 非線形), 動的解析 (過渡応答解析, 周波数応答解析), 固有値解析, 伝熱解析 (温度分布解析), 熱応力解析, 線形座屈解析等の機能を有している。 • 数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木など様々な分野の構造解析に使用されている。
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"> • 構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について, 本解析コードを用いた 3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い, 解析解が理論解と一致す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, 開発機関から提示された要件を満足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"> • 日本原燃株式会社の「六ヶ所再処理施設」における, 耐震計算において本解析コード (Ver5. 7) が使用された実績が有ります。 • 今回の申請において使用するバージョンは, 既設工認において使用されているものと異なるが, バージョン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。

2.2 ABAQUS Ver. 6.13-1

項目	コード名 Abaqus
開発機関	ダッソー・システムズ社(仏)
開発時期	1971年 (一般商用リリース)
使用したバージョン	Ver. 6.13-1
使用目的	弾塑性応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> • Abaqus (以下, 「本解析コード」という。) は, 米国 HKS(Hibbitt, Karsson&Sorensen)社によって開発され, 現在はダッソー・システムズ社(株)が開発・販売している有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 • 適用モデル(主にはり要素, シェル要素, ソリッド要素)に対して, 静的解析(線形, 非線形), 動的解析(過渡応答解析, 周波数応答解析), 固有値解析, 伝熱解析(温度分布解析), 熱応力解析, 線形座屈解析等の機能を有している。 • 数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木など様々な分野の構造解析に使用されている。
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"> • 構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について, 本解析コードを用いた3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い, 解析解が理論解と一致す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, 開発機関から提示された要件を満足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"> • 日本原燃株式会社の「六ヶ所再処理施設」における, 空調分離板耐震計算において本解析コード(Ver5.7)が使用された実績が有ります。 • 今回の申請において使用するバージョンは, 既設工認において使用されているものと異なるが, バージョン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。

2.3 ABAQUS Ver. 6.14-3

コード名	Abaqus
項目	
開発機関	ダッソー・システムズ社(仏)
開発時期	1971年 (一般商用リリース)
使用したバージョン	Ver. 6.14-3
使用目的	弾塑性応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> • Abaqus (以下, 「本解析コード」という。) は, 米国 HKS (Hibbitt, Karsson&Sorensen) 社によって開発され, 現在はダッソー・システムズ社 (株) が開発・販売している有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 • 適用モデル (主にはり要素, シェル要素, ソリッド要素) に対して, 静的解析 (線形, 非線形), 動的解析 (過渡応答解析, 周波数応答解析), 固有値解析, 伝熱解析 (温度分布解析), 熱応力解析, 線形座屈解析等の機能を有している。 • 数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木など様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>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"> • 構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について, 本解析コードを用いた 3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い, 解析解が理論解と一致す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, 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>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"> • 日本原燃株式会社の「六ヶ所再処理施設」における, 空調分離板耐震計算において本解析コード (Ver5.7) が使用された実績が有ります。 • 今回の申請において使用するバージョンは, 既設工認において使用されているものと異なるが, バージョン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6 HISAP
1. 使用状況一覧
建設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-3-1	配管の耐震計算書	Ver.52

2. 解析コードの概要

2.1 HISAP Ver. 52

項目 \ コード名	HISAP
開発機関	株式会社日立製作所
開発時期	1978年
使用したバージョン	HISAP Ver. 52
使用目的	多質点系はり要素による配管の耐震解析及び応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> • HISAP（以下、「本解析コード」という。）は、米国カリフォルニア大学において開発された汎用構造解析コード「SAP-V」をメインプログラムに用い、計算機コードインプット・アウトプットデータインターフェイス及び応力計算プログラムを日立製作所にて開発した計算機プログラム(プログラム名：HISAP)である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> • メインプログラムであるSAP-Vについては、構造解析用解析コード（MSC NASTRAN 2005.0.0）を用いて、代表的な配管検証用モデルに対する計算及び比較を行い、結果が一致していることを確認している。 • 応力評価プログラムについては、メインプログラムの出力結果（軸力、モーメント）から、適用技術基準（JSME*¹、JEAG*²等）に基づいて応力評価が正しく計算されていることを確認している。 • サブプログラムについては、インターフェイスチェックシートを用いて、単位、桁数、符号が変換前後で正しく処理され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、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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"> • 原子力の分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 • 日本原子力発電株式会社の「東海第二発電所」において、配管の耐震解析及び応力解析に本解析コード「Ver. 52」の使用実績がある。

(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・今回の工事計画認可申請で行うはりモデルによる管の固有値解析，応力解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲にあることを確認している。・今回の工事計画認可申請では，既工事計画における使用実績のバージョンとは異なるものを適用するが，バージョンアップに伴う変更点は，他プラントの既工事計画において使用されているものをSI単位化しているもので，本解析の使用範囲の結果に影響はない。・本解析コードの適用制限として使用要素数があるが，使用した要素数は適用制限以下であり，今回の解析に使用することは妥当である。
--	--

注記 *1：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」

*2：日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」

別紙7 HISAP-V
1. 使用状況一覧
建設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-2-5	容器（下部支持型, コイル付）の耐震計算書	Ver.0
IV-2-1-2-2-11	環状形槽の耐震計算書	Ver.0
IV-2-1-2-3-1	配管の耐震計算書	Ver.0

2. 解析コードの概要

2.1 HISAP-V Ver.0

項目 \ コード名	HISAP-V
開発機関	株式会社日立製作所
開発時期	1985年
使用したバージョン	Ver.0
使用目的	パイプ要素による，配管の固有値解析，応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ HISAP-V（以下，「本解析コード」という。）は，国内原子力プラントの許認可用構造解析コードとして使用されているSAP-Vのインターフェイスを，パイプ要素による配管解析用に日立製作所で一部変更したものである。 ・ SAP (Structural Analysis Program) は1970年，California大学，BerkleyのWilson教授（振動方程式の数理解法の一つ，Wilsonのθ法で有名）が中心となってBathe氏らが開発を始めた有限要素法を使った汎用型線形構造解析プログラムであり，次に示すような解析機能を有している。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 静的解析 ・ 固有値解析 ・ 時刻歴応答解析 ・ 応答スペクトル解析
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> ・ 汎用ソフトウェアの導入評価（解析条件に応じた使用実績確認等）にて確認している。 ・ 簡易モデル（サンプル計算例），標準計算事例を用いた解析結果との比較にて確認している。 ・ 手計算による検証・理論解による検証にて確認している。 ・ 動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。

(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<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">・日本原子力研究開発機構の「高速増殖炉もんじゅ」において、配管の応力解析に本解析コード (HISAP-V Ver. 0) が使用された実績がある。・SAP-Vは、機械工学、土木工学及び航空工学等の分野において多くの実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。・本解析コードは、パイプ要素による配管解析用に使用するものであり、今回の配管解析に使用することは妥当である。
--	--

別紙8 ISAP

1. 使用状況一覧

施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-3-1	弁の耐震計算書	ISAP-IV

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-1-1-11-1 別紙1-10	高レベル廃液ガラス固化建屋の直管部標準 支持間隔	ISAP-III
IV-5-1-1 別紙1-8	高レベル廃液ガラス固化建屋の直管部標準 支持間隔	ISAP-III

2. 解析コードの概要

2.1 I S A P ISAP-III

項目 \ コード名	I S A P
開発機関	株式会社IHI
開発時期	1988年
使用したバージョン	ISAP-III
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
コードの概要	<p>本解析コードは，汎用構造解析コード「S A P - V」を基につくられている。「S A P」は，米カリフォルニア大学にて開発された計算機プログラムである。</p> <p>任意の3次元形状に対して，有限要素法により静的解析，動的解析を行い，反力・モーメント・応力，固有周期・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>本解析コードは，原子力の配管設計において，多くの実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード“ADL Pipe Static-Thermal-Dynamic Pipe Stress Analysis” (Arthur D. Little. Inc., Cambridge, Masaachusetts, January 1971) による解析結果を比較し，結果が合致す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，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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，原子力分野の配管設計において多くの実績を有しており，妥当性は十分確認されている。 ・本解析コードは，東京電力ホールディングス株式会社の「柏崎刈羽原子力発電所第7号機」において，固有値解析及び地震応答解析に使用された実績がある。

(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 本解析コードは、東北電力株式会社の「女川原子力発電所第2号機」において、固有値解析及び地震応答解析に使用された実績がある。• 本解析コードのマニュアルにより、本申請で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析、地震応答解析及び応力解析に、本解析コードが適用できることを確認している。• 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが、使用した要素数は適用制限以下であり、今回の解析に使用することは妥当である。
--	---

2.2 I S A P ISAP-IV

項目 \ コード名	I S A P
開発機関	株式会社IHI
開発時期	1988年
使用したバージョン	ISAP-IV
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
コードの概要	<p>本解析コードは，汎用構造解析コード「S A P - V」を基につくられている。「S A P」は，米カリフォルニア大学にて開発された計算機プログラムである。</p> <p>任意の3次元形状に対して，有限要素法により静的解析，動的解析を行い，反力・モーメント・応力，固有周期・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>本解析コードは，原子力の配管設計において，多くの実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード“ADL Pipe Static-Thermal-Dynamic Pipe Stress Analysis” (Arthur D. Little. Inc., Cambridge, Masaachusetts, January 1971) による解析結果を比較し，結果が合致す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，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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，原子力分野の配管設計において多くの実績を有しており，妥当性は十分確認されている。 ・本解析コードは，東京電力ホールディングス株式会社の「柏崎刈羽原子力発電所第7号機」において，固有値解析及び地震応答解析に使用された実績がある。

(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 本解析コードは、東北電力株式会社の「女川原子力発電所第2号機」において、固有値解析及び地震応答解析に使用された実績がある。• 本解析コードのマニュアルにより、本申請で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析に，本解析コードが適用できることを確認している。• 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが，使用した要素数は適用制限以下であり，今回の解析に使用することは妥当である。
--	---

別紙9 MSAP
1. 使用状況一覧
建設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-3-1	配管の耐震計算書	■

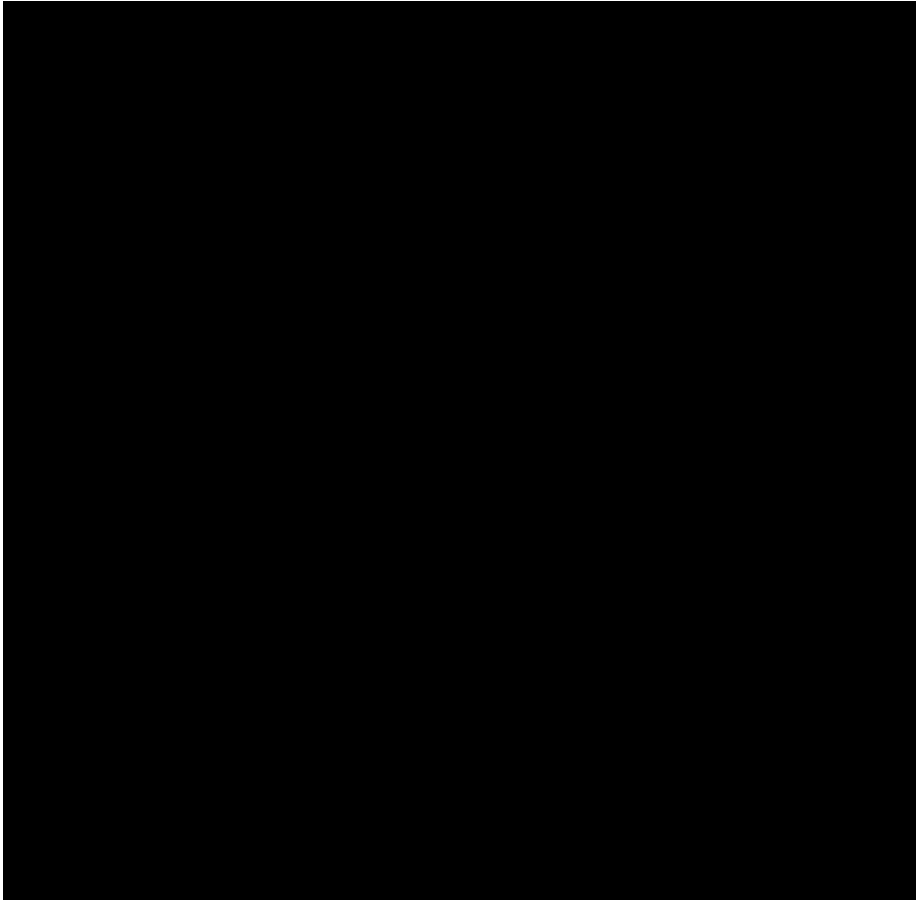
前処 A

2. 解析コードの概要

2.1 MSAP PC 1.0

項目 \ コード名	MSAP [REDACTED]
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	[REDACTED]
使用したバージョン	[REDACTED]
使用目的	3次元有限要素法(はり要素)による 固有値解析, 地震応答解析, 応力算出
コードの概要	<p>強度及び耐震計算で使用している解析コードMSAP [REDACTED] (以下「本解析コード」という。)は, 三菱重工業株式会社で機器・配管系の耐震構造解析等に活用することを目的として, カリフォルニア大学のE. L. Wilson教授らによって開発された線形構造解析コードSAP Vをベースに改良・整備を行った汎用コードである。</p> <p>対話方式による入力及び構造解析の出力データを基に規格基準の算出式に従った評価が可能である。</p> <p>加圧水型原子力発電設備における様々な機器・配管系の強度及び耐震設計に使用され, 多くの利用実績を有している。</p>
検証(Verification)及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証は, 以下のとおり実施している。</p> <p>[REDACTED]</p> <ul style="list-style-type: none"> 対話方式により入力されたデータはインプットファイルとして出力され, 入力データと一致していることを確認している。 入力データが正しく構造解析に受け渡されていること, 構造解析データが正しく規格計算に受け渡されていることをそれぞれ確認している。

(つづき)

<p>検証(Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・構造解析結果として出力されたデータを規格基準に従い、発生応力、疲労累積係数を算出しており、その過程が理論解を再現できることを確認している。・地震動の組合せ処理は、本解析コード内で処理しており、アウトプットファイルと理論計算結果が一致することを確認している。・本解析コードの適用制限として使用節点数・要素数があるが、適用範囲内であ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、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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">・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析，構造解析，応力算出の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。
---	--

別紙10 NSAFE
1. 使用状況一覧
建設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-3-1	配管の耐震計算書	NSAFE Ver. 4.02.03

2. 解析コードの概要

2.1 NSAFE NSAFE Ver. 4.02.03

項目 \ コード名	NSAFE
開発機関	株式会社日立プラントコンストラクション
開発時期	1982年
使用したバージョン	NSAFE Ver. 4.02.03
使用目的	配管支持構造物の構造解析・応力解析
コードの概要	<p>NSAFE（以下「本解析コード」という。）は、支持構造物の強度解析を目的として開発された計算機プログラムである。本解析コードは、汎用構造解析コードSAP-Vをメインプログラムとし、応力評価プログラム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログラムから成る。</p> <p>任意の1次元、2次元あるいは3次元形状に対し、静的解析、動的解析を行うことが可能で、反力・モーメント・応力、固有値・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>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"> 解析コードは、支持構造物に対して、門型の構造物を用いた評価結果(静解析, 動解析, 静+動解析, 固有値解析)とSAP-Vでの計算結果とを比較し、妥当性を確認している。 メインプログラムであるSAP-Vについては、構造解析用解析コード(MSC NASTRAN 2005.0.0)を用いて、代表的な配管検証用モデルに対する計算及び比較を行い、結果が一致していることを確認している。 応力評価プログラムについては、メインプログラムの出力結果(軸力, モーメント)から、適用技術基準(JSME^{*1}, JEAG^{*2}等)に基づいて応力評価が正しく計算されていることを確認している。 サブプログラムについては、インターフェイスチェックシートを用いて、単位, 桁数, 符号が変換前後で正しく処理され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、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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">・日本原燃(株)殿 再処理施設をはじめ，国内BWR電力会社の原子力発電設備の各種鋼構造物の解析評価において豊富な使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。・日本原子力発電株式会社の「東海第二発電所」において，配管の耐震解析及び応力解析に，本解析コードと機能的に同等である「Ver. 5」の使用実績がある。・今回の工事計画認可申請で行うはりモデルによる支持構造物の応力解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲にあることを確認している。・本解析コードの適用制限として使用要素数があるが，使用した要素数は適用制限以下であり，今回の解析に使用することは妥当である。
--	---

注記 *1：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」
*2：日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」

別紙11 SAP-IV
 1. 使用状況一覧
 施設変更設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-2-1	貯蔵ラックの耐震計算書	Ver. 4.1
IV-2-1-2-2-2	仮置き架台の耐震計算書	Ver. 4.1

建設設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-2-11	環状形槽の耐震計算書	Ver. 4.1
IV-2-1-2-2-20	加熱送気缶の耐震計算書	Ver. 4.1
IV-2-1-2-2-22	加熱濃縮缶の耐震計算書	Ver. 4.1
IV-2-2-2-2-2-7	チャンネルボックス切断装置の耐震計算書	Ver. 4.1

2. 解析コードの概要

2.1 SAP-IV Ver. 4.1

項目 \ コード名	SAP-IV
開発機関	株式会社日立製作所
開発時期	1973年（米国カリフォルニア大学） 1990年（株式会社日立製作所）
使用したバージョン	Ver. 4.1
使用目的	3次元有限要素法（はり，シェルモデル）による固有値解析， 応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ SAP (Structural Analysis Program) は1970年， California大学， BerkleyのWilson教授（振動方程式の数理解法の一つ， Wilsonのθ法で有名）が中心となってBathe氏らが開発を始めた有限要素法を使った汎用型線形構造解析プログラムであり， 次に示すような解析機能を有している。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 静的解析 ・ 固有値解析 ・ 時刻歴応答解析 ・ 応答スペクトル解析 ・ CNDYNは， 国内原子力プラントの許認可用構造解析コードとして使用されているSAP-IVのインターフェイスを日立製作所で一部変更したものである。
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"> ・ 汎用ソフトウェアの導入評価（解析条件に応じた使用実績確認等）にて確認している。 ・ 簡易モデル（サンプル計算例）， 標準計算事例を用いた解析結果との比較にて確認している。 ・ 手計算による検証・理論解による検証にて確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について， 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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">・東京電力ホールディングス株式会社の「柏崎刈羽原子力発電所第7号機」において、原子力関連設備の応力解析に本解析コード（CNDYN Ver. 4.1）が使用された実績がある。・本解析コードは、機械工学，土木工学及び航空工学等の分野において多くの実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。・今回の工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法（はり，シェルモデル）による固有値解析及び応力解析は，理論解とSAP-IV解析結果との一致により，適用できることを確認している。・今回の工事計画認可申請において使用するバージョンは，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一であることを確認している。・今回の工事計画認可申請における構造に使用する要素，3次元有限要素法（はり，シェルモデル）による固有値解析，応力解析の使用目的に対して，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上記妥当性確認の範囲内であることを確認している。・本解析コードの適用制限として使用要素数があるが，使用した要素数は適用制限以下であり，今回の解析に使用することは妥当である。
--	---

別紙12 SOLVER

1. 使用状況一覧

建設工認

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-2-3-1	配管の耐震計算書	Rev 02.05

2. 解析コードの概要

2.1 SOLVER Rev 02.05

項目 \ コード名	SOLVER
開発機関	株式会社 東芝
開発時期	1988年
使用したバージョン	Rev 02.05
使用目的	3次元有限要素法による応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> • SOLVER（以下、「本解析コード」という。）は、構造物の静的及び動的解析のメインプログラムである「SAP」を基に作られている。「SAP」は、米カリフォルニア大学にて開発された計算機プログラムである。航空機の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 • 任意の3次元形状に対し、有限要素法により、静解析、同解析を行い、反力・モーメント・応力、固有振動数・刺激係数等の算出が可能である。
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"> • 本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード“ADL Pipe Static-Thermal-Dynamic Pipe Stress Analysis” (Arthur D. Little. Inc., Cambridge, Masaachusetts, January 1971) による解析結果を比較し、結果が合致す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、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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、東京電力ホールディングス株式会社の「柏崎刈羽原子力発電所第7号機」において、固有値解析及び地震応答解析に使用された実績がある。• 今回の申請で行うはりモデルの固有値解析、地震応答解析及び応力解析の使用目的に照らして、用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確認している。• 開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析、地震応答解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。• 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが、使用した要素数は適用制限以下であり、本申請における使用用途及び使用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。
--	---