

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 29 R0
提出年月日	令和 4 年 1 月 20 日

設工認に係る補足説明資料

耐震設計の基本方針に関する

計算機プログラム（解析コード）の概要について

目 次

1. 概要 1
2. 工事計画添付書類に係る補足説明資料 1
3. 計算機プログラム(解析コード)の概要に係る添付書類と補足説明資料の構成について
..... 2

別紙 1-1-1 解析コードリスト (耐震・建物)

別紙 1-1-2 解析コードリスト (耐震・建物)

別紙 1-2-1 解析コードリスト (耐震・機電)

別紙 1-2-2 解析コードリスト (耐震・機電)

別紙 2-1-1 工事の計画において使用された解析コードとのバージョンの差分について (耐震・建物)

別紙 2-1-2 工事の計画において使用された解析コードとのバージョンの差分について (耐震・建物)

別紙 2-2-1 工事の計画において使用された解析コードとのバージョンの差分について (耐震・機電)

別紙 3-1-1 工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (耐震・建物)

別紙 3-1-2 工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (耐震・建物)

別紙 3-2-1 工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (耐震・機電)

別紙 3-2-2 工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (耐震・機電)

別紙 4-1-1 補足説明資料のみで使用している解析コードリスト (耐震・建物)

別紙 4-1-2 補足説明資料のみで使用している解析コードリスト (耐震・建物)

別紙 4-2-1 補足説明資料のみで使用している解析コードリスト (耐震・機電)

参考資料-1 計算機プログラム(解析コード)の概要

：後次回申請において提示

：商業機密の観点から公開できない箇所

1. 概要

本資料は、再処理施設、廃棄物管理施設、MOX 燃料加工施設の設計基準対象施設及び再処理施設、MOX 燃料加工施設の重大事故等対処施設(以下、「再処理事業所」という。)の耐震に関する計算機プログラム（解析コード）について補足説明するものである。

2. 設工認の添付書類に係る補足説明資料

添付書類の記載内容を補足するための資料を表1に示す。

表1 添付書類の補足資料

資料 No.	資料名	補足説明内容
別紙1-1（耐震・建物）～1-2（耐震・機電）	1. 解析コードリスト	添付書類IV「耐震性に関する説明」において使用した解析コードの補足説明
別紙2-1（耐震・建物）～2-2（耐震・機電）	2. 工事の計画※において使用された解析コードとのバージョンの差分について（耐震・建物）	今回申請において使用した解析コードのうち工事の計画※において使用された解析コードとバージョンが異なる解析コードの補足説明
別紙3-1（耐震・建物）～3-2（耐震・機電）	3. 工事の計画※において使用実績のない解析コードリスト	今回申請において使用した解析コードのうち工事の計画※において使用実績のない解析コードの補足説明
別紙4-1（耐震・建物）～4-2（耐震・機電）	4. 補足説明資料のみで使用している解析コードリスト	補足説明資料のみで使用した解析コードの補足説明

※：発電プラントを含む。また、再処理事業所については設計及び工事の計画の認可とする。

3. 計算機プログラム（解析コード）の概要に係る添付書類と補足説明資料の構成について

添付書類及び補足説明資料で使用する計算機プログラム（解析コード）は、過去の使用実績やバージョンの違いにより図1のフローに従い区分A～区分Eに分類する。各区分に応じて表2及び表3に示す添付書類と別紙を作成するものとする。

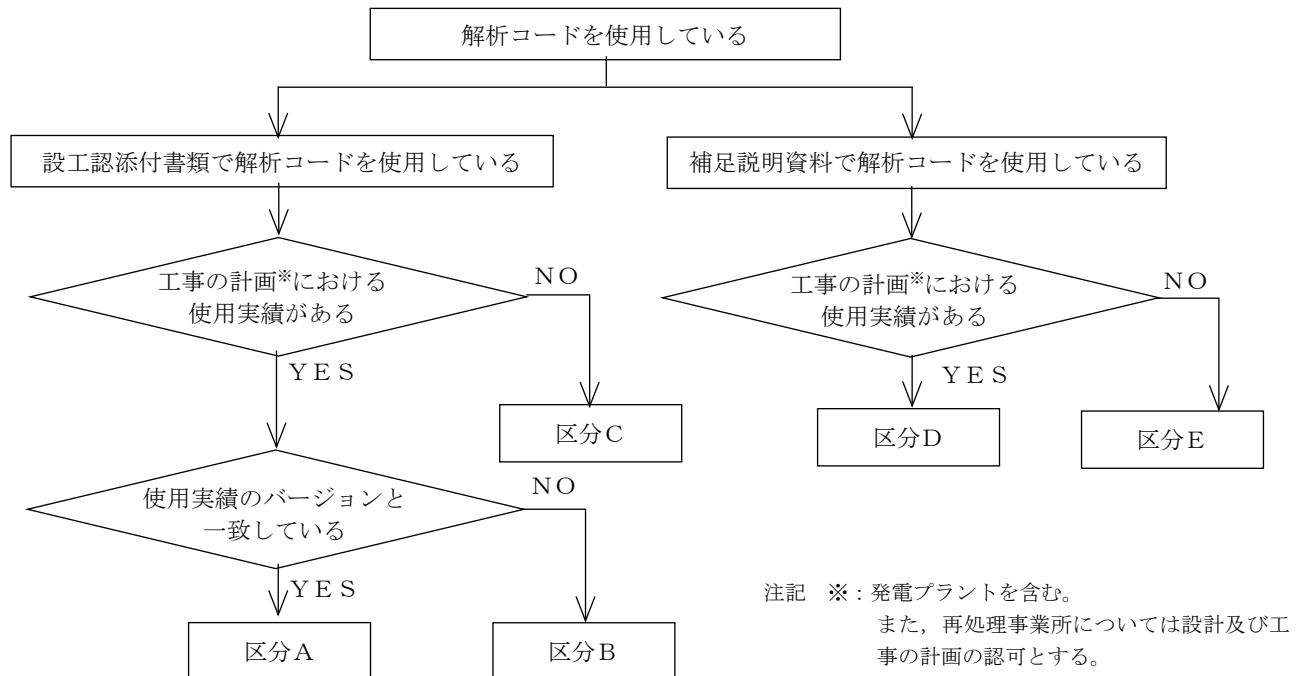


図1 区分フロー

表2 区分フローの結果が得られた添付書類の解析コードに対して作成する書類等

区分	添付書類(解析コード使用)	本補足説明資料
A	解析コードの概要	解析コードリスト(別紙1-1~1-2)
B	解析コードの概要	解析コードリスト(別紙1-1~1-2) バージョンの差分(別紙2-1~2-2)
C	解析コードの概要 検証及び妥当性確認の詳細	解析コードリスト(別紙1-1~1-2) 使用実績のない解析コードリスト(別紙3-1~3-2)

表3 区分フローの結果が得られた補足説明資料の解析コードに対して作成する書類等

区分	補足説明資料(解析コード使用)	本補足説明資料
D	—	補足説明資料のみで使用している解析コードリスト(別紙4-1~4-2)
E	解析コードの概要 検証及び妥当性確認の詳細	(解析コードとその使用目的について、表2の添付書類(解析コード使用)に対して作成する書類と内容が合致している場合は、表2の内容を代表として示し、表3の書類には記載しない。)

別紙

耐震建物29【設工認に係る補足説明資料
耐震設計の基本方針に関する計算機プログラム
(解析コード)の概要に係る補足説明資料】

別紙				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
別紙 1-1-1	解析コードリスト (耐震・建物)	1/20	0	
別紙 1-1-2	解析コードリスト (耐震・建物)			後次回で示す範囲
別紙 1-2-1	解析コードリスト (耐震・機電)	1/20	0	
別紙 1-2-2	解析コードリスト (耐震・機電)			後次回で示す範囲
別紙 2-1-1	工事の計画において使用された解析コードとのバージョンの差分について (耐震・建物)	1/20	0	
別紙 2-1-2	工事の計画において使用された解析コードとのバージョンの差分について (耐震・建物)			後次回で示す範囲
別紙 2-2-1	工事の計画において使用された解析コードとのバージョンの差分について (耐震・機電)			後次回で示す範囲
別紙 3-1-1	工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (耐震・建物)	1/20	0	
別紙 3-1-2	工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (耐震・建物)			後次回で示す範囲
別紙 3-2-1	工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (耐震・機電)	1/20	0	
別紙 3-2-2	工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (耐震・機電)			後次回で示す範囲
別紙 4-1-1	補足説明資料のみで使用している解析コードリスト (耐震・建物)	1/20	0	
別紙 4-1-2	補足説明資料のみで使用している解析コードリスト (耐震・建物)			後次回で示す範囲
別紙 4-2-1	補足説明資料のみで使用している解析コードリスト (耐震・機電)			後次回で示す範囲

別紙 1 - 1 - 1

解析コードリスト (耐震・建物)

目 次

1. 解析コードリスト（耐震・建物） 1

1. 解析コードリスト (耐震・建物) (1/2)

NO	解析コード名	製造元	使用したバージョン	最新バージョン	対象設備	使用目的	使用実績 (先行プラント含む)							関連添付書類			備考	
							実績	プラント名	対象工認件名	添付資料	バージョン	対象設備	使用目的	原子力産業界 一般産業界	資料番号	分類		資料名称
1	REFLECT	大成建設株式会社	Ver.2.0	Ver.2.0	安全冷却水B冷却塔	入力地震動の策定	○	川内1号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	添付資料3	Ver.2.0	原子炉格納施設	入力地震動の策定	○	IV-2-1-1-1 a	建物・構築物	安全冷却水B冷却塔の地震応答計算書	
2	VA	大成建設株式会社	Ver.2.0	Ver.2.0	安全冷却水B冷却塔	地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばね算定	○	川内1号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	添付資料3	Ver.2.0	原子炉格納施設	地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばね算定	○	IV-2-1-1-1 a	建物・構築物	安全冷却水B冷却塔の地震応答計算書	
3	TDAPⅢ	大成建設株式会社, 株式会社アーク情報システム	Ver.3.07	Ver.3.10 (注1)	安全冷却水B冷却塔	固有値解析及び弾塑性応答解析	○	川内1号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	添付資料3	Ver.3.05	原子炉格納施設	固有値解析及び弾塑性応答解析	○	IV-2-1-1-1 a	建物・構築物	安全冷却水B冷却塔の地震応答計算書	
4	MSC NASTRAN	MSC.Software Corporation	Ver.2013.1.0	Ver.2021.3 (注1)	安全冷却水B冷却塔	3次元有限要素法 (シェルモデル) による応力解析	○	高浜3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料13-17-7-2	Ver.2012.1.0	使用済燃料ピット	3次元有限要素法 (シェルモデル) による応力解析	○	IV-2-1-1-1 b	建物・構築物	安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書	
5	MSC NASTRAN	MSC.Software Corporation	Ver.2013.1.0	Ver.2021.3 (注1)	安全冷却水B冷却塔	3次元有限要素法 (シェルモデル) による応力解析	○	高浜3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料13-17-7-2	Ver.2012.1.0	使用済燃料ピット	3次元有限要素法 (シェルモデル) による応力解析	○	IV-2-2-1-1	建物・構築物	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	
6	FLIP	一般社団法人FLIPコンソーシアム	Ver.7.4.1	Ver.8.0.3	安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット	地震応答解析	○	東海第二	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	V-3-別添3-2-2-1	Ver.7.3.0_2	防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁)	有効応力解析法に基づく2次元有限要素法による地震応答解析	○	IV-2-1-4-2-1	建物・構築物	安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの計算書	
7	midas iGen	MIDAS IT	Ver.845	Ver.900	安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット	3次元有限要素法による応力解析	○	東海第二	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	V-3-別添1-1-1	Ver.860	原子炉建屋 (鉄骨造部)	3次元有限要素法 (はりモデル) による応力解析	○	IV-2-1-4-2-1	建物・構築物	安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの計算書	
8	NAPISOS	電力中央研究所, 株式会社竹中工務店	Ver.2.0	Ver.2.0	安全冷却水B冷却塔	地震応答解析	○	柏崎刈羽7号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	V-2-2-11	Ver.2.0	廃棄物処理建屋	地震応答解析	○	IV-2-3-2-1-1	建物・構築物	安全冷却水B冷却塔基礎の隣接建屋に関する影響評価結果	
9	ST-CROSS	株式会社竹中工務店	Ver.1.0	Ver.1.0	燃料加工建屋	地震応答解析モデルにおける底面地盤ばねの算定	○	高浜3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料13-17-7-2	Ver.1.0	原子炉格納施設	地震応答解析モデルにおける底面地盤ばねの算定	○	Ⅲ-2-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の地震応答計算書	
10	NOVAK	株式会社竹中工務店	Ver.1.0	Ver.1.0	燃料加工建屋	地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねの算定	○	美浜3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料13-17-7-2	Ver.1.0	原子炉格納施設	地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねの算定	○	Ⅲ-2-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の地震応答計算書	
11	TDAS	株式会社竹中工務店	Ver.20121030	Ver.20121030	燃料加工建屋	入力地震動の策定	○	柏崎刈羽7号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	V-5-2-5	Ver.20121030	タービン建屋	入力地震動の策定	○	Ⅲ-2-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の地震応答計算書	
12	TDAS	株式会社竹中工務店	Ver.20121030	Ver.20121030	燃料加工建屋	固有値解析及び弾塑性応答解析	○	柏崎刈羽7号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	V-5-2-5	Ver.20121030	タービン建屋	固有値解析及び弾塑性応答解析	○	Ⅲ-2-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の地震応答計算書	
13	MuDIAN	株式会社竹中工務店	Ver.8.0	Ver.8.0	燃料加工建屋	逐次非線形解析を用いた入力地震動の算定	×	—	—	—	—	—	—	—	Ⅲ-2-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の地震応答計算書	

1. 解析コードリスト (耐震・建物) (2/2)

NO	解析コード名	製造元	使用したバージョン	最新バージョン	対象設備	使用目的	使用実績 (先行プラント含む)							関連添付書類			備考	
							実績	プラント名	対象工認件名	添付資料	バージョン	対象設備	使用目的	原子力産業界 一般産業界	資料番号	分類		資料名称
14	MSC NASTRAN	MSC.Software Corporation	Ver.2012.1.0	Ver.2021.3 (注1)	燃料加工建屋	3次元有限要素法 (シェルモデル) による応力解析	○	高浜3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料13-17-2-2	Ver.2012.1.0	使用済燃料ピット	3次元有限要素法 (シェルモデル) による応力解析	○	III-2-1-1-2	建物・構築物	燃料加工建屋の耐震計算書	
15	MSC NASTRAN	MSC.Software Corporation	Ver.2012.1.0	Ver.2021.3 (注1)	燃料加工建屋	3次元有限要素法 (シェルモデル) による応力解析	○	高浜3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料13-17-2-2	Ver.2012.1.0	使用済燃料ピット	3次元有限要素法 (シェルモデル) による応力解析	○	III-2-3-1-1	建物・構築物	建物・構築物の水平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	
16	TDAPIII	大成建設株式会社, 株式会社アーク情報システム	Ver.3.07	Ver.3.10 (注1)	燃料加工建屋	地震応答解析	○	川内1号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	添付資料3	Ver.3.05	原子炉格納施設	地震応答解析	○	III-2-3-2-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の隣接建屋に関する影響評価結果	
17	ST-CROSS	株式会社竹中工務店	Ver.1.0	Ver.1.0	燃料加工建屋	地震応答解析モデルにおける底面地盤ばねの算定	○	高浜3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料13-17-7-2	Ver.1.0	原子炉格納施設	地震応答解析モデルにおける底面地盤ばねの算定	○	III-6-2-1-1-1	建物・構築物	基準地震動を1.2倍した地震力に対する耐震性評価結果	
18	NOVAK	株式会社竹中工務店	Ver.1.0	Ver.1.0	燃料加工建屋	地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねの算定	○	美浜3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料13-17-7-2	Ver.1.0	原子炉格納施設	地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねの算定	○	III-6-2-1-1-1	建物・構築物	基準地震動を1.2倍した地震力に対する耐震性評価結果	
19	TDAS	株式会社竹中工務店	Ver.20121030	Ver.20121030	燃料加工建屋	入力地震動の策定	○	柏崎刈羽7号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	V-5-2-5	Ver.20121030	タービン建屋	入力地震動の策定	○	III-6-2-1-1-1	建物・構築物	基準地震動を1.2倍した地震力に対する耐震性評価結果	
20	TDAS	株式会社竹中工務店	Ver.20121030	Ver.20121030	燃料加工建屋	固有値解析及び弾塑性応答解析	○	柏崎刈羽7号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	V-5-2-5	Ver.20121030	タービン建屋	固有値解析及び弾塑性応答解析	○	III-6-2-1-1-1	建物・構築物	基準地震動を1.2倍した地震力に対する耐震性評価結果	
21	MuDIAN	株式会社竹中工務店	Ver.8.0	Ver.8.0	燃料加工建屋	逐次非線形解析を用いた入力地震動の算定	×	—	—	—	—	—	—	—	III-6-2-1-1-1	建物・構築物	基準地震動を1.2倍した地震力に対する耐震性評価結果	

注1: 最新バージョンへの改訂において、計算結果に大きな影響を与える不具合に伴う改訂が行われていないことを確認した。

別紙 1 - 2 - 1

解析コードリスト（耐震・機電）

目 次

1. 解析コードリスト（耐震・機電） 1

1. 解析コードリスト (耐震・機電) (1/1)

NO	解析コード名	製造元	使用したバージョン	最新バージョン	対象設備	使用目的	使用実績 (先行プラント含む)							関連添付書類			備考	
							実績	プラント名	対象工認件名	添付資料	バージョン	対象設備	使用目的	原子力産業界 一般産業界	資料番号	分類		資料名称
1	MSC NASTRAN	MSC.Software Corporation	Ver.2008.0.4	Ver.2018.0.1 (注1)	安全冷却水B冷却塔	3次元有限要素法による応力解析	○	東海第二	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	V-2-10-1-7-17	Ver.2008.0.4	常設代替高圧電源装置遠隔操作盤	3次元有限要素法 (はりモデル及びシェルモデル) による固有値解析, 地震応答解析及び応力解析	○	IV-2-1-3-2-1(1)	機器・配管系	安全冷却水B冷却塔 (1183-C12) の耐震計算書	
2	MSC NASTRAN	MSC.Software Corporation	Ver.2008.0.0	Ver.2018.0.1 (注1)	安全冷却水B冷却塔	3次元有限要素法による応力解析	○	東海第二	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	V-2-2-15-1	Ver.2008.0.0	主排気筒	3次元有限要素法 (はりモデル) による応力解析	○	IV-2-1-3-2-1(1)	機器・配管系	安全冷却水B冷却塔 (1183-C12) の耐震計算書	
3	SPAN2000	三菱重工業株式会社	■	■	配管	等分布質量連続はり要素による耐震最大支持間隔算出	○	東海第二	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	V-2-1-12-1	■	緊急時対策所用発電機燃料設備主配管	等分布質量連続はりモデルによる耐震最大支持間隔算出	○	IV-1-1-12-1 別紙	機器・配管系	安全冷却水B冷却塔の配管標準支持間隔	
4	FACT	辰星技研株式会社	V1.3	V1.3	設計用床応答曲線を用いて設計する設備	設計用床応答曲線作成	×	-	-	-	-	-	-	-	IV-1-1-6	機器・配管系	設計用床応答曲線の作成方針	

注1：最新バージョンへの改訂において、計算結果に大きな影響を与える不具合に伴う改訂が行われていないことを確認した。

別紙 2 - 1 - 1

工事の計画において使用された解析コードとの
バージョンの差分について（耐震・建物）

目 次

1. 工事の計画において使用された解析コードとのバージョンの差分について（耐震・建物） 1

1. 工事の計画において使用された解析コードとのバージョンの差分について (耐震・建物) (1/1)

No.	関連目録 番号	解析コード 名	製造元	使用した バージョン	対象設備	使用目的	使用実績 (先行プラント含む)						バージョン差分内容	
							実績	プラント名	対象工認件名	添付書類	バージョン	対象設備		使用目的
3	IV-2-1-1-1 a	TDAPⅢ	大成建設株式会社, 株式会社 アーク情報システム	Ver.3.07	安全冷却水B冷却塔	固有値解析及び弾塑性 応答解析	○	川内1号機	新規制基準適合性 審査に係る工事計 画認可申請	添付資料3	Ver.3.05	原子炉格納施設	固有値解析及び弾塑性 応答解析	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
4	IV-2-1-1-1 b	MSC NASTRAN	MSC.Software Corporation	Ver.2013.1.0	安全冷却水B冷却塔	3次元有限要素法 (シェ ルモデル) による応力 解析	○	高浜3号機	新規制基準適合性 審査に係る工事計 画認可申請	資料13-17- 7-2	Ver.2012.1.0	使用済燃料ピッ ト	3次元有限要素法 (シ ェルモデル) による 応力解析	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、材料の追加や計 算パフォーマンスの向上などに関するものであ り、今回の解析結果に影響を及ぼさない
5	IV-2-2-1-1	MSC NASTRAN	MSC.Software Corporation	Ver.2013.1.0	安全冷却水B冷却塔	3次元有限要素法 (シェ ルモデル) による応力 解析	○	高浜3号機	新規制基準適合性 審査に係る工事計 画認可申請	資料13-17- 7-2	Ver.2012.1.0	使用済燃料ピッ ト	3次元有限要素法 (シ ェルモデル) による 応力解析	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、材料の追加や計 算パフォーマンスの向上などに関するものであ り、今回の解析結果に影響を及ぼさない
6	FLIP	一般社団法 人FLIPコン ソーシアム	Ver.7.4.1	Ver.8.0.3	安全冷却水B冷却塔 飛来物 防護ネット	地震応答解析	○	東海第二	新規制基準適合性 審査に係る工事計 画認可申請	V-3-別添3- 2-2-1	Ver.7.3.0_2	防潮堤 (鉄筋コ ンクリート防潮 壁)	有効応力解析法に基 づく2次元有限要素法 による地震応答解析	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、材料の追加や計 算パフォーマンスの向上などに関するものであ り、今回の解析結果に影響を及ぼさない
16	Ⅲ-2-3-2- 1-1	TDAPⅢ	大成建設株式 会社, 株式会 社アーク情報 システム	Ver.3.07	燃料加工建屋	地震応答解析	○	川内1号機	新規制基準適合性 審査に係る工事計 画認可申請	添付資料3	Ver.3.05	原子炉格納施設	地震応答解析	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

※No.は別紙 1 - 1 - 1 のNo.に準ずる。

別紙 3 - 1 - 1

工事の計画において使用実績のない
解析コードリスト（耐震・建物）

目 次

1. 工事の計画において使用実績のない解析コードリスト（耐震・建物）…………… 1

1. 工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (耐震・建物) (1/1)

NO	解析コード名	使用したバージョン	対象設備	使用目的	ポイント	検証 (Verification) の概要	妥当性確認 (Validation) の概要	分類
13 ・ 21	MuDIAN	Ver. 8.0	燃料加工建屋	逐次非線形解析を用いた入力地震動の算定	MuDIAN (以下「本解析コード」という。) は、主に地盤の逐次非線形応答解析用として開発された有限要素解析コードである。 地盤の非線形モデルとして、標準的なモール・クーロンモデルのほか、R-0 モデルやH-D モデルの他に、YT モデルを利用可能であり、日本建築学会における学术论文において、時刻歴解析を必要とする地盤の非線形性を考慮した地震応答解析や、建屋と地盤の相互作用を考慮した地震応答解析に実績がある。	本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。 ・ 地盤の逐次非線形応答解析について、同じ地盤モデルの例題に対して、同じ非線形モデルを用いて実施した本解析コードの解析解と、発電用原子炉施設の工事計画認可申請において使用実績のある FLIP 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、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。	本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。 ・ 検証の内容のとおり、地盤の逐次非線形応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。 ・ 今回申請で行う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。	建物・構築物

※No. は別紙 1-2-1 の No. に準ずる。

別紙 3 - 2 - 1

工事の計画において使用実績のない
解析コードリスト（耐震・機電）

目 次

1. 工事の計画において使用実績のない解析コードリスト（耐震・機電）…………… 1

1. 工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (耐震・機電) (1/1)

NO	解析コード名	使用したバージョン	対象設備	使用目的	ポイント	検証 (Verification) の概要	妥当性確認 (Validation) の概要	分類
4	FACT	V1.3	設計用床応答曲線を用いて設計する設備	床応答曲線作成	<p>FACT (以下「本解析コード」という。) は、加速度時刻歴から床応答曲線を作成するプログラムであり、建物・構築物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幅を行う。</p> <p>本解析コードは、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>	<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>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 本工事計画認可申請で使用する解析機能は、理論モデルをそのままコード化したものであり、妥当性は確認されている。 ±10%拡幅、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、妥当性は確認されている。 	機器・配管系

※No.は別紙 1 - 2 - 1 のNo.に準ずる。

別紙 4 - 1 - 1

補足説明資料のみで使用している解析コードリスト
(耐震・建物)

目 次

1. 補足説明資料のみで使用している解析コードリスト（耐震・建物）…………… 1

1. 補足説明資料のみで使用している解析コードリスト（耐震・建物）（1/1）

NO	解析コード名	製造元	使用したバージョン	最新バージョン	対象設備	使用目的	使用実績（先行プラント含む）							関連添付書類			備考	
							実績	プラント名	対象工認件名	添付資料	バージョン	対象設備	使用目的	原子力産業界 一般産業界	資料番号	分類		資料名称
1	MSC NASTRAN	MSC.Software Corporation	Ver.2012.1.0	Ver.2021.3	燃料加工建屋	3次元有限要素法（シェルモデル）による時刻歴応答解析	○	大飯3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	補足-4-05	Ver.2008r1	原子炉建屋	3次元有限要素法（シェルモデル）による時刻歴応答解析	○	耐震建物07	建物・構築物	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出	
2	MSC NASTRAN	MSC.Software Corporation	Ver.2016.1.1	Ver.2021.3	分離建屋	3次元有限要素法（シェルモデル）による時刻歴応答解析	○	東海第二	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	補足-340-7	Ver.2016.1	原子炉建屋	3次元有限要素法（シェルモデル）による時刻歴応答解析	○	耐震建物07	建物・構築物	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出	

参考資料－ 1

計算機プログラム（解析コード）の概要

1. 本参考資料は、第一回申請における添付書類「耐震性に関する計算書」において使用した計算機プログラム（解析コード）のうち、令和2年12月24日に申請した添付書類「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示していない審査進捗において添付資料として示す事とした（補足説明資料から添付書類への格上げ等）解析コードに対し、解析コードの概要と検証及び妥当性確認の詳細を示す。
2. 本解析コードの概要と検証及び妥当性確認の詳細については、今後添付書類へ反映するため、現時点では参考資料として添付したものである。
3. 添付書類反映後は、本補足説明資料から削除する。

目 次

参考資料－1－1	FLIP	1
参考資料－1－2	NAPISOS	6
参考資料－1－3	MuDIAN	10
参考資料－1－4	FACT	23

參考資料－ 1 － 1

FLIP

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FLIP について説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-4-2-1	安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの計算書	Ver. 7. 4. 1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	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	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を挙げることができる。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 有限要素法に基づくプログラムである。 ② 平面ひずみ状態を解析対象とする。 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。 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。 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 style="text-align: center;"> 検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation) </p>	<p>【検証(Verification)】</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> <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おり、今回の解析に使用することは妥当である。 ・ 発電炉にて使用実績があり、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、発電炉に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。
--	--

参考資料－ 1 － 2

NAPISOS

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）NAPISOS について説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-3-2-1-1	安全冷却水 B 冷却塔基礎の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 2.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	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	固有値解析, 地震応答解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> • 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。 • 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。 • 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。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは, 安全冷却水 B 冷却塔の隣接建屋に関する影響評価に使用している。</p> <p>【検証(Verification)】</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, 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"> • 発電炉にて使用実績があり, 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。 • 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。

参考資料－ 1 － 3

MuDIAN

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）MuDIAN について説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅲ-3-1-1-1 別紙	燃料加工建屋における地盤の非線形性に関する確認	Ver. 8.0
Ⅲ-別添-1-1-1 別紙	燃料加工建屋における地盤の非線形性に関する確認	Ver. 8.0

2. 解析コードの概要

コード名 項目	MuDIAN
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1993 年
使用したバージョン	Ver. 8.0
使用目的	固有値解析, 地震応答解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ MuDIAN (以下, 「本解析コード」という。) は, 主に地盤の逐次非線形応答解析用として開発された有限要素解析コードである。地盤の非線形モデルとして, 標準的なモール・クーロンモデルのほか, R-O モデルや H-D モデルの他に, YT モデルを利用可能である。 ・ 日本建築学会における学術論文において, 時刻歴解析を必要とする地盤の非線形性を考慮した地震応答解析や, 建屋と地盤の相互作用を考慮した地震応答解析に実績がある。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 地盤の逐次非線形応答解析について, 同じ地盤モデルの例題に対して, 同じ非線形モデルを用いて実施した本解析コードの解析解と, 発電用原子炉施設の工事計画認可申請において使用実績のある FLIP 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, 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"> ・ 検証の内容のとおり, 地盤の逐次非線形応答解析について検証していることから, 解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。 ・ 今回申請で行う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。

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、株式会社竹中工務店で開発した、主に地盤の逐次非線形応答解析を対象としたプログラムであり、有限要素法に基づく解析プログラムである。

本解析コードは、燃料加工建屋の地盤の逐次非線形応答解析に使用している。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードは、主に地盤の逐次非線形応答解析用として開発された有限要素解析コードで、地盤の非線形モデルとして、標準的なモール・クーロンモデルのほか、R-O モデルや H-D モデルの他に、YT モデル¹⁾ を利用可能である。

3.3 解析手法

3.3.1 運動方程式

一般に多自由度系の振動方程式は、(1)式で表される。

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

ここで

- [M] : 質量マトリクス
- [C] : 減衰マトリクス
- [K] : 剛性マトリクス
- { \ddot{u} } : 加速度ベクトル
- { \dot{u} } : 速度ベクトル
- { u } : 変位ベクトル
- { \ddot{y} } : 入力加速度ベクトル

3.3.2 減衰項の策定

減衰項はレイリー減衰として(2)式のように表される。

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

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

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 時間積分法

本解析コードでは、時間積分法として Zienkiwicz(1985)の時間積分法 SSpj 法を採用している。本積分法は、時間積分法の積分係数を変えるだけで Wilson- θ 法, Newmark- β 法, Houbolt 法と等価な時間積分ができる方法である。その理論的背景を以下に示す。

n ステップから $n+1$ ステップまでの時間刻みを Δt とする。

$n+1$ ステップの変位 U_{n+1} は n ステップの変位 U_n とその部分項及び時間刻み Δt で(3)式のように表される。

$$U_{n+1} = U_n + \dot{U}_n \cdot \Delta t + \ddot{U}_n \frac{1}{2} (\Delta t)^2 + \dots + \alpha \cdot (\Delta t)^p \cdot \frac{1}{p!} \quad (3)$$

ここで

- U_i : 変位
- \dot{U}_i : 変位の時間による一階微分
- \ddot{U}_i : 変位の時間による二階微分
- α : 時差項
- p : 次数

(3)式はさらに(4)式のように書き表せる。

$$U_{n+1} = \sum_{q=0}^{p-1} U_n \frac{(\Delta t)^q}{q!} + \alpha \cdot \frac{(\Delta t)^p}{p!} = \bar{U}_{n+1} + \alpha \cdot \frac{(\Delta t)^p}{p!} \quad (4)$$

(4)式で示された U_{n+1} を時間 t で微分すると速度、加速度が(4)式と同様な形で書き表せる。運動方程式にこの変位、速度及び加速度を代入し、 Δt 間で重みつき残差法を用いると(5)式が導かれる。

$$\int_0^{\Delta t} w \cdot (MU_{n+1} + CU_{n+1} + KU_{n+1} - f) dt = 0 \quad (5)$$

ここで

- w : 重みつき関数

(5)式において

$$\frac{\int_0^{\Delta t} w \cdot (\Delta t)^q dt}{\int_0^{\Delta t} w dt} = \theta_q \cdot (\Delta t)^q \quad (6)$$

$$q = 1 \sim p \quad \theta_0 = 1 \quad 0 \leq \theta_q \leq 1$$

とおくと、運動方程式は(7)式のようなになる。

$$\begin{aligned}
& M \left(\sum_{q=2}^{p-1} U_{n+1} \cdot \frac{q}{(q-2)!} \cdot (\Delta t)^{q-2} \cdot \theta_{q-2} + \alpha \cdot \frac{(\Delta t)^{p-2}}{(p-2)!} \cdot \theta_{p-2} \right) \\
& + C \left(\sum_{q=1}^{p-1} U_{n+1} \cdot \frac{q}{(q-1)!} \cdot (\Delta t)^{q-1} \cdot \theta_{q-1} + \alpha \cdot \frac{(\Delta t)^{p-1}}{(p-1)!} \cdot \theta_{p-1} \right) \\
& + K \left(\sum_{q=1}^{p-1} U_{n+1} \cdot \frac{q}{q!} \cdot (\Delta t)^q \cdot \theta_q + \alpha \cdot \frac{(\Delta t)^p}{p!} \cdot \theta_p \right) - f = 0 \tag{7}
\end{aligned}$$

(7)式を α につき解き, (8)式に代入することで $n+1$ ステップの変位, 速度, 加速度とする。

$$\begin{aligned}
U_{n+1} &= \bar{U}_{n+1} + \alpha \cdot \frac{(\Delta t)^p}{p!} \\
\dot{U}_{n+1} &= \dot{\bar{U}}_{n+1} + \alpha \cdot \frac{(\Delta t)^{p-1}}{(p-1)!} \\
\ddot{U}_{n+1} &= \ddot{\bar{U}}_{n+1} + \alpha \cdot \frac{(\Delta t)^{p-2}}{(p-2)!}
\end{aligned} \tag{8}$$

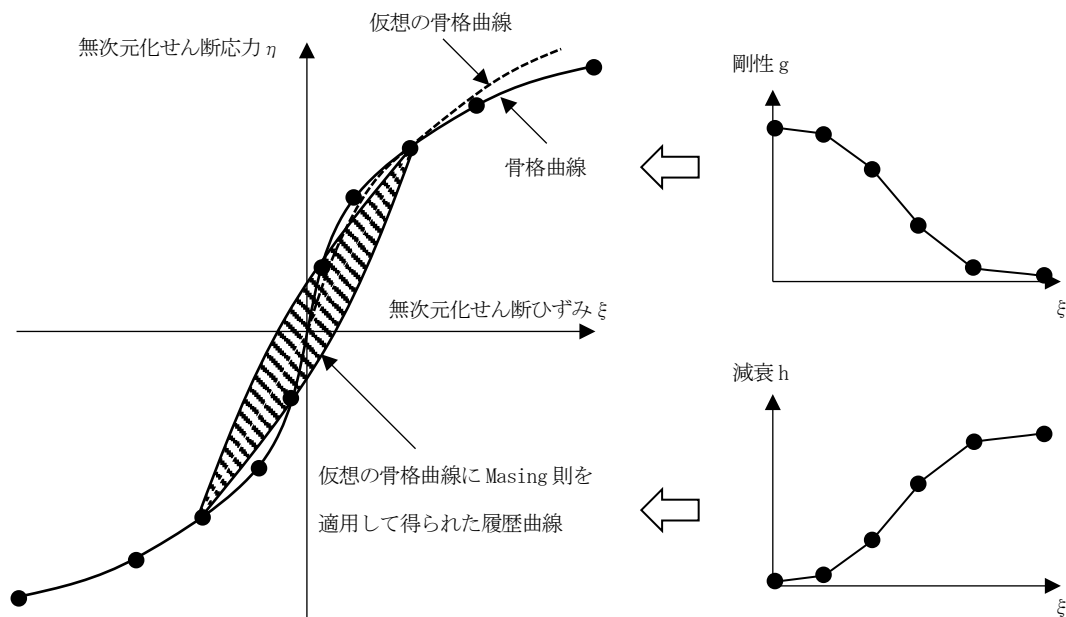
3.3.4 YTモデルによる非線形特性

燃料加工建屋の逐次非線形応答解析における地盤の非線形特性(応力-ひずみ関係)はYTモデルを用いている。YTモデルは、入力値に実験値を用いて地盤の骨格剛性が定義可能なモデルである。以下に、YTモデルの骨格曲線と履歴曲線を示す。

G/G_0 の値を与えた歪位置 γ_i でのせん断応力 τ_i は以下のようになる。

$$\tau_i = \left(\frac{G}{G_{max}} \right)_i \cdot \gamma_i \cdot G_{max} \quad (9)$$

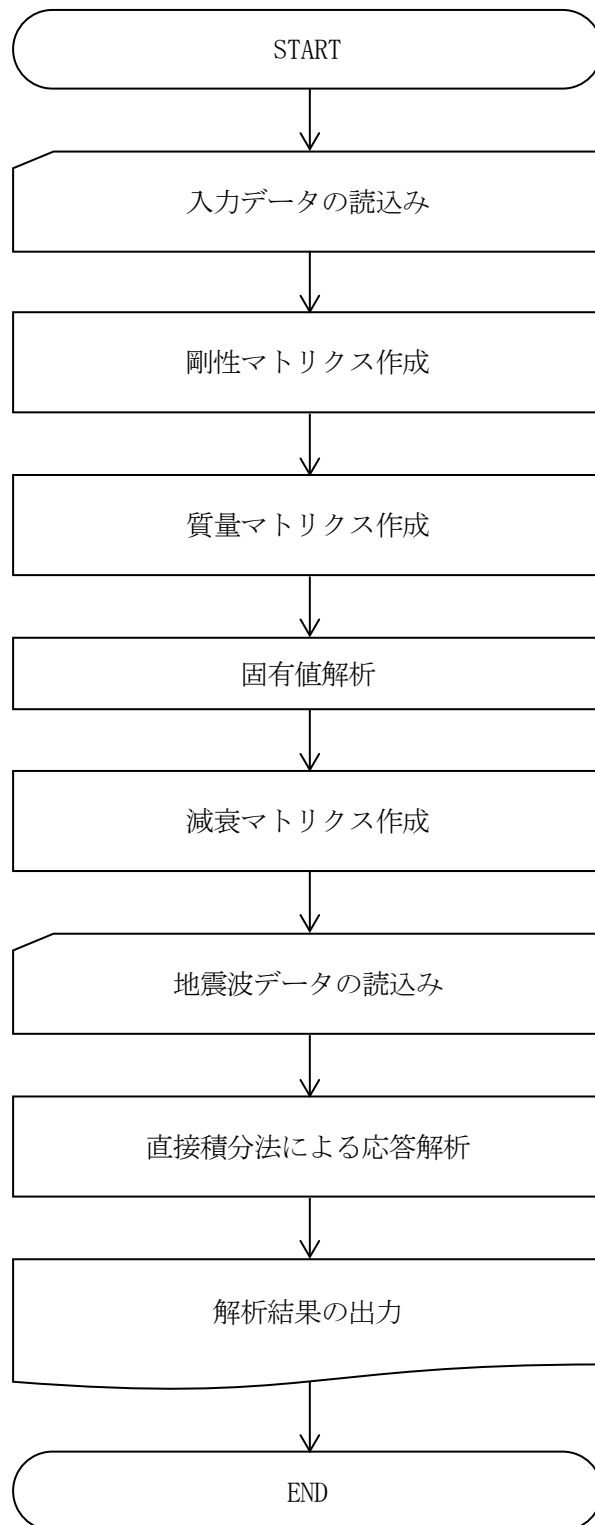
これを $\tau-\gamma$ 平面にプロットし、これらの点を繋ぐことで、実験値と完全に一致する骨格曲線が得られる。また、履歴曲線に関しては、1サイクルあたりの履歴減衰が $h-\gamma$ 曲線から得られる減衰定数 h と等しくなるように、仮想の骨格曲線を双曲線で定義する。これらのせん断ひずみに対する非線形のモデル化の概念図を第3.3.4-1図に示す。



第3.3.4-1図 せん断ひずみに対する非線形のモデル化

3.4 解析フローチャート

本解析コードを用いた解析フローチャートを第 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) 検証の概要

地盤の逐次非線形応答解析について、同じ地盤モデルの例題に対して、同じ非線形モデルを用いて実施した本解析コードによる解析解と、発電用原子炉施設の工事計画認可申請において使用実績のある FLIP による解析解を比較することで、本プログラムの検証を行った。

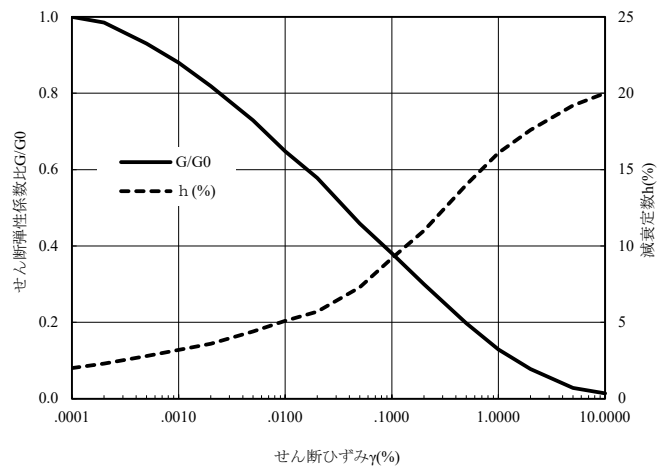
(2) 検証条件

検証を行う地盤モデルの初期物性値を第 3.5.1-1 表、地盤の非線形特性を第 3.5.1-1 図及び第 3.5.1-2 図に示す。地盤モデルは、 $V_s=100\text{m/s}\sim 400\text{m/s}$ 程度の表層地盤を想定して設定した。検証に用いる入力地震波は第 3.5.1-3 図に示す ElCentro 地震波を用いる。

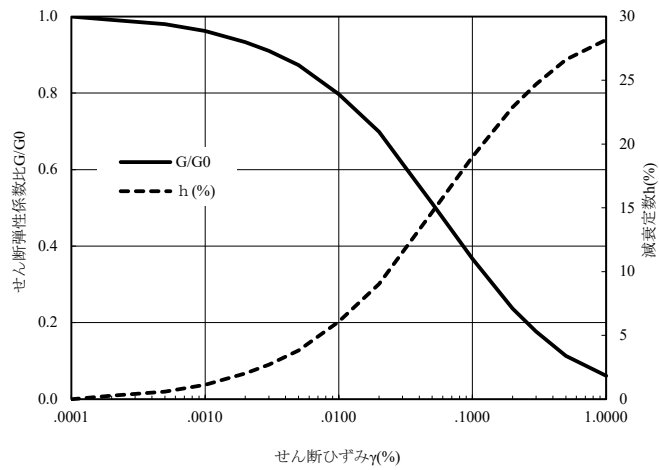
なお、MuDIAN の YT モデル、FLIP のマルチスプリングモデルともに、地盤のひずみ依存特性は双曲線モデルを用いて設定した。

第 3.5.1-1 表 地盤の初期物性値

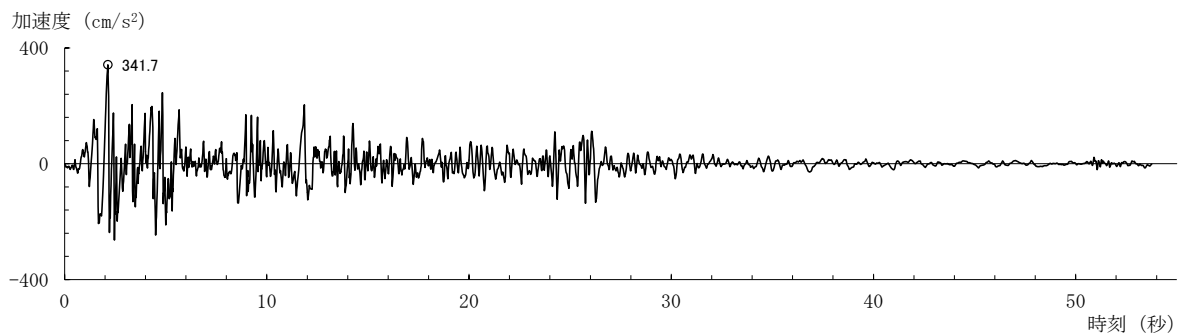
区分	層厚 (m)	分割 (m)	深度 (m)	単位体積重量 (kN/m^3)	せん断波速度 (m/s)	せん断弾性係数 (kN/m^2)
第1層	4.00	1.00	1.00	17	110	20,976
		1.00	2.00	17	110	20,976
		1.00	3.00	17	110	20,976
		1.00	4.00	17	110	20,976
	10.80	1.20	5.20	16	124	25,087
		1.20	6.40	16	124	25,087
		1.20	7.60	16	124	25,087
		1.20	8.80	16	124	25,087
		1.20	10.00	16	124	25,087
		1.20	11.20	16	124	25,087
		1.20	12.40	16	124	25,087
		1.20	13.60	16	124	25,087
		1.20	14.80	16	124	25,087
第2層	9.60	1.60	16.40	16	162	42,818
		1.60	18.00	16	162	42,818
		1.60	19.60	16	162	42,818
		1.60	21.20	16	162	42,818
		1.60	22.80	16	162	42,818
		1.60	24.40	16	162	42,818
	1.20	1.20	25.60	20	286	166,817
	8.00	2.00	27.60	20	252	129,512
		2.00	29.60	20	252	129,512
		2.00	31.60	20	252	129,512
		2.00	33.60	20	252	129,512
	2.00	2.00	35.60	20	375	286,795
	基盤				20	442



第 3. 5. 1-1 第 1 層のひずみ依存特性



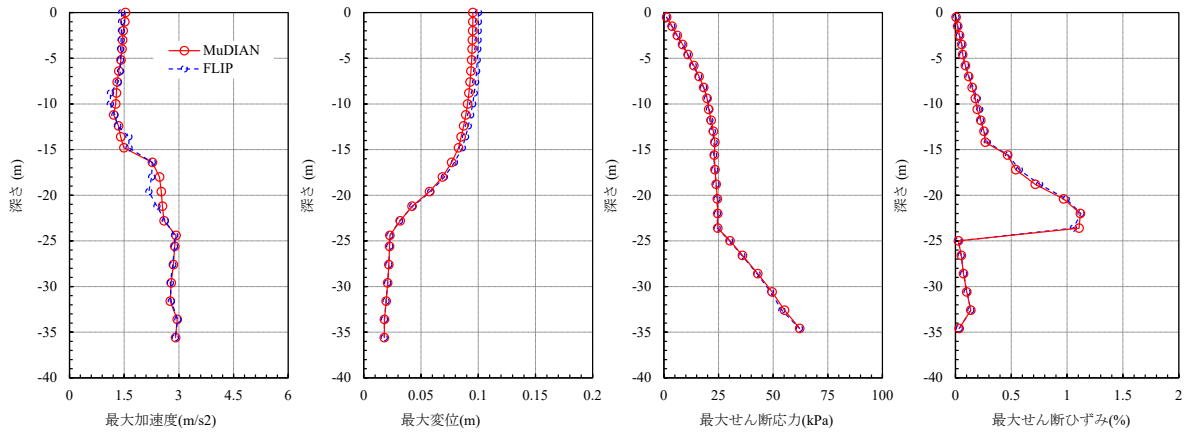
第 3. 5. 1-2 第 2 層のひずみ依存特性



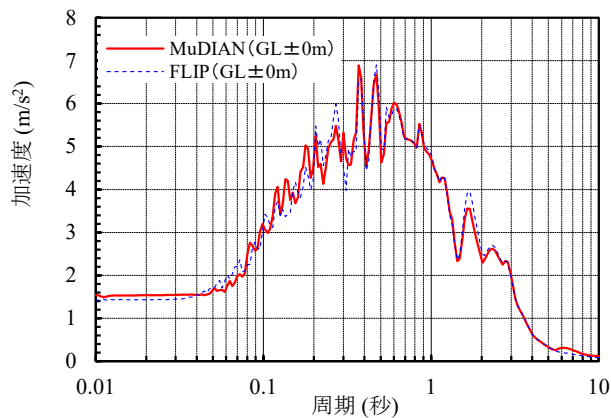
第 3. 5. 1-3 図 入力地震波の加速度時刻歴波形

(3) 解析結果の比較

地盤の最大応答値分布を第 3.5.1-4 図, 地表面応答による応答スペクトルを第 3.5.1-5 図に示す。いずれも本解析コードと FLIP の解析解はよく整合している。



第 3.5.1-4 図 地盤の最大応答値



第 3.5.1-5 図 地表面による加速度応答スペクトル (h=3%)

(4) 検証結果

前項に示す本解析コードの解析解と発電用原子炉施設の工事計画認可申請において使用実績のある FLIP の解析解の比較のとおり, 両者はよく整合しており, 本解析コードを用いて得られた計算結果の妥当性を確認した。

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。

- ・ 検証の内容のとおり、地盤の逐次非線形応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。
- ・ 今回申請で行う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。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より、例題にて検討した地盤の逐次非線形応答解析と同様の機能を必要とする燃料加工建屋の地盤の逐次非線形応答解析に用いることは妥当である。

4. 引用文献

- (1) 吉田望，辻野修一，石原研而：地盤の1次元非線形解析に用いる土のせん断応力-せん断ひずみ関係のモデル化，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）B，pp.1639-1640, 1990.10)

参考資料－ 1 － 4

FACT

1. FACT

項目 \ コード名	FACT
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	1.3
使用目的	床応答曲線作成
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ FACT (以下「本解析コード」という。) は、加速度時刻歴から床応答曲線を作成するプログラムであり、建物・構築物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。 ・ 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幅を行う。 ・ 本解析コードは、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。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</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> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本工事計画認可申請で使用する解析機能は、理論モデルをそのままコード化したものであり、妥当性は確認されている。 ・ ±10% 拡幅、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、妥当性は確認されている。

2. 解析コードの解析手法について

2.1 一般事項

本書は、建物・構築物の地震応答解析から算出される加速度時刻歴から床応答スペクトルを作成する解析コードである **FACT** の説明書である。

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

2.2 解析コードの特徴

本解析コードにおける 1 自由度系を用いた床応答スペクトルの作成は、線形加速度法を用いることにより行う。主な特徴を以下に示す。

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

2.3 解析手法

加速度時刻歴を入力とする 1 自由度系における応答について、減衰定数をパラメータとして以下のとおり算出する。

各質点における相対変位を x 、固有円振動数を ω 、減衰定数を h 、地動の加速度時刻歴を \ddot{y}_t としたとき、1 質点系の運動方程式は時刻 t において以下のように表される。

$$\ddot{x}_t + 2h \cdot \omega \cdot \dot{x}_t + \omega^2 \cdot x_t = -\ddot{y}_t \quad (2.1)$$

時刻刻み Δt 後の各質点における相対変位 x を x_{n+1} とすると、時刻 t_{n+1} において成立する運動方程式は以下となる。

$$\ddot{x}_{n+1} + 2h \cdot \omega \cdot \dot{x}_{n+1} + \omega^2 \cdot x_{n+1} = -\ddot{y}_{n+1} \quad (2.2)$$

ここで、時間 Δt の間で加速度が線形に変化するものとする、以下のように表される。

$$\ddot{x}_n = \frac{\dot{x}_{n+1} - \dot{x}_n}{\Delta t} \quad (2.3)$$

時刻 t_{n+1} における加速度 \ddot{x}_{n+1} 、速度 \dot{x}_{n+1} 及び変位 x_{n+1} は次のようになる。

$$\ddot{x}_{n+1} = \ddot{x}_n + \frac{\dot{x}_{n+1} - \dot{x}_n}{\Delta t} \Delta t \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned}\dot{x}_{n+1} &= \dot{x}_n + \Delta t \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t^2 \cdot \dddot{x}_n \\ &= \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_{n+1}\end{aligned}\quad (2.5)$$

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{6} \Delta t^3 \cdot \dddot{x}_n \\ &= x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{6} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_{n+1}\end{aligned}\quad (2.6)$$

時刻 t_{n+1} において成立する運動方程式(2.2)に(2.5), (2.6)を代入すると, (2.7)が得られる。

$$\begin{aligned}&\left(1 + \frac{2h \cdot \omega \cdot \Delta t}{2} + \frac{\omega^2 \cdot \Delta t^2}{6}\right) \ddot{x}_{n+1} \\ &= \left\{ \ddot{y}_{n+1} + 2h \cdot \omega \left(\dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n\right) + \omega^2 \left(x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n\right) \right\}\end{aligned}\quad (2.7)$$

(2.7)において式を簡略化するため,

$$R = 1 + \frac{2h \cdot \omega \cdot \Delta t}{2} + \frac{\omega^2 \cdot \Delta t^2}{6}\quad (2.8)$$

$$E_n = \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n\quad (2.9)$$

$$F_n = x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n\quad (2.10)$$

とおくと, (2.7)から(2.11)が得られる。

$$\ddot{x}_{n+1} = \frac{1}{R} (\ddot{y}_{n+1} + 2h \cdot \omega \cdot E_n + \omega^2 \cdot F_n)\quad (2.11)$$

(2.11)を(2.5), (2.6)に代入すると, 時刻 t_n での加速度 \ddot{x}_n , 速度 \dot{x}_n 及び変位 x_n から1つ先の時刻 t_{n+1} での加速度 \ddot{x}_{n+1} , 速度 \dot{x}_{n+1} 及び変位 x_{n+1} を求めることができる。

ここで, 1つの減衰定数 h , 1つの計算固有周期点に対して, (2.5), (2.6), (2.11)により入力地震動 \ddot{y}_n の全継続時間にわたって応答加速度 \ddot{x}_n を算出し, $\dot{x}_n + \ddot{y}_n$ の絶対値の最大値を求め, これを1つの減衰定数 h , 1つの計算固有周期点での加速度応答スペクトル算出値とする。

計算固有周期の範囲で同様に最大値を求め, これら最大値で床応答スペクトルを作成する。

なお, 初期値 ($t=0$) での応答加速度 \ddot{x}_0 , 応答速度 \dot{x}_0 , 応答変位 x_0 は以下のように表される。

$$\begin{aligned}x_{t=0} &= 0 \\ \dot{x}_{t=0} &= \dot{y}_{t=0} \cdot \Delta t \\ (\ddot{x} + \ddot{y})_{t=0} &= 2h \cdot \omega \cdot \dot{y}_{t=0} \Delta t\end{aligned}$$

2.4 解析フローチャート

本解析コードを用いた解析フローチャートを図 2-1 に示す。

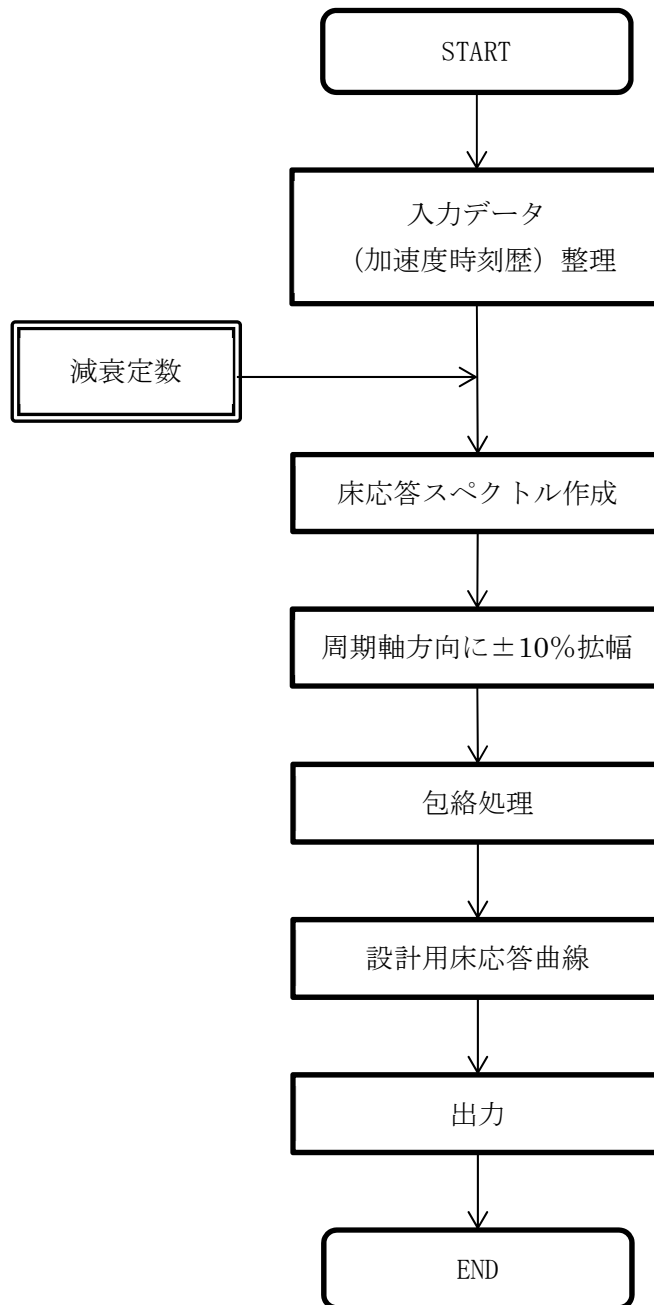


図 2-1 解析フローチャート

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

2.5.1 検証 (Verification)

(1) 検証の概要

別解析コード「FACS」にて作成した設計用床応答曲線（検証用データ）と本解析コードで作成した設計用床応答曲線の加速度（震度）を比較することで、本プログラムの検証を行った。

表 2-1 検証における比較項目

検証対象	比較項目
設計用床応答曲線	応答加速度（震度）

(2) 検証条件

F2 建屋の地震応答解析から得られた基準地震動 S_s に対する加速度時刻歴として、EW 方向モデルの床レベル 55.30m の質点 (1) 及び NS 方向の床レベル 47.70m の質点 (2) の S_s-A に対する応答を用いた。また、設計用床応答曲線を作成するための減衰定数は、機器・配管系の耐震計算に適用されるものうち、1.0%とした。図 2-2 に F2 建屋の地震応答解析モデルを示す。

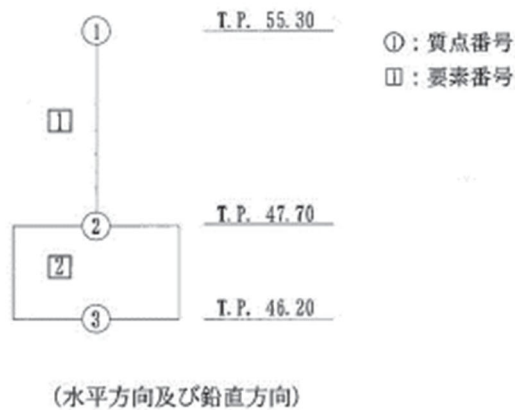


図 2-2 F2 建屋地震応答解析モデル（水平及び鉛直方向）

(3) 解析結果の比較

各検証条件で作成した設計用床応答曲線について、検証用データと本解析コードで作成したデータの比較結果を図 2-3～図 2-4 に示す。

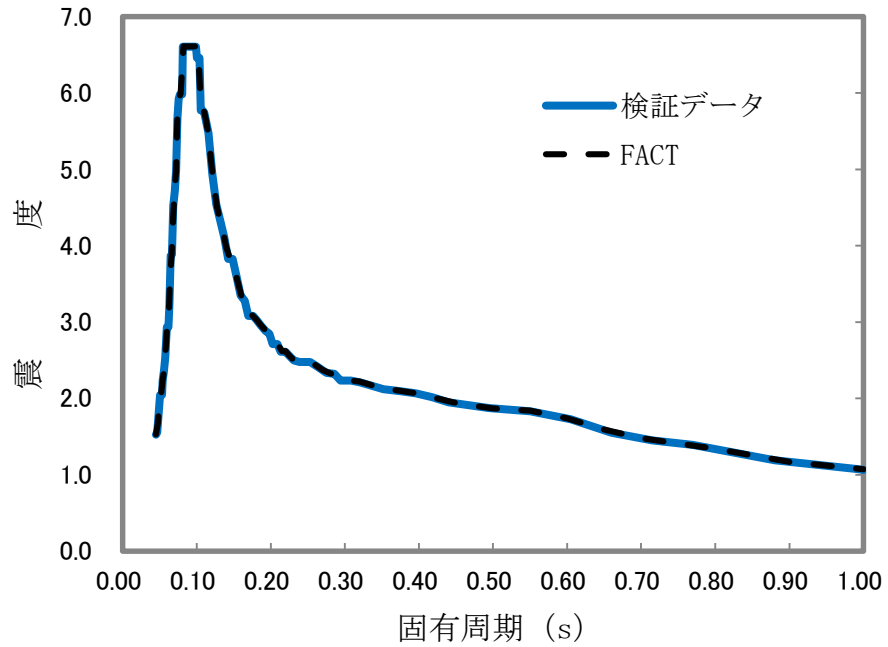


図 2-3 検証用データと本解析コードの比較結果 (EW 方向床レベル 55.30m 減衰 1.0%)

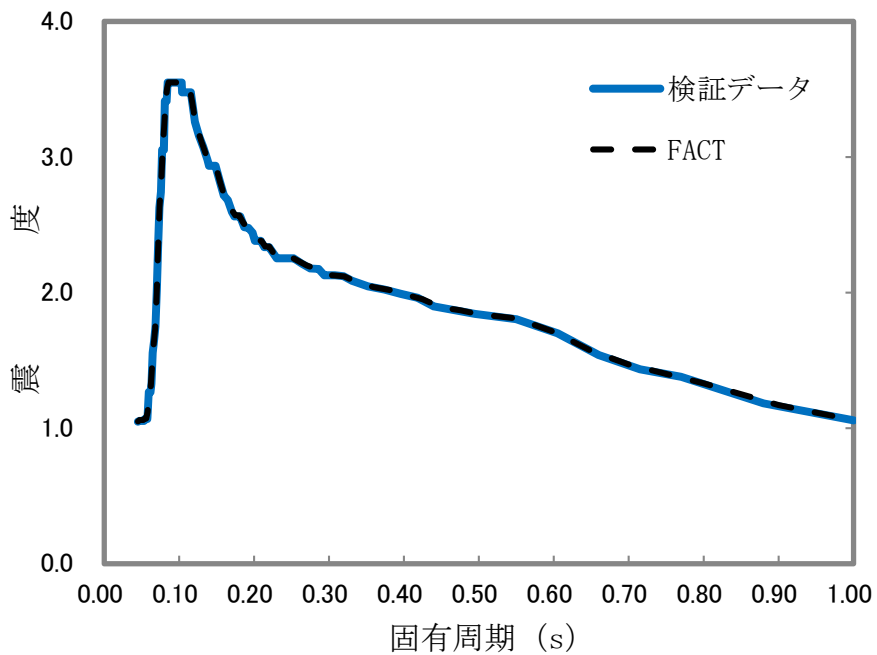


図 2-4 検証用データと本解析コードの比較結果 (NS 方向床レベル 47.70m 減衰 1.0%)

(4) 検証結果

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

2.5.2 妥当性確認 (Validation)

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- ・ 今回の工事計画で使用する機能は床応答スペクトルの作成機能、振幅機能及び包絡機能であるため、同一の入力条件に対する1自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、別解析コード「FACS」と本解析コードの結果を比較することで妥当性を確認している。
- ・ 設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は、上述の妥当性を確認している範囲内での使用である。
- ・ ±10%振幅、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、妥当性は確認されている。

2.5.3 評価結果

2.5.1 及び 2.5.2 より、本解析コードを、使用目的に示す設計用床応答曲線の作成に用いることは妥当である。