

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 29 R <u>3</u>
提出年月日	<u>令和4年8月5日</u>

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

1. 文章中の下線部は、R2 から R3 への変更箇所を示す。
2. 本資料(R3)は、6月29日に提示した「計算機プログラム(解析コード)の概要について R2」に対し、ヒアリングにおける指摘事項を踏まえ、記載内容を見直したものである。

目 次

1. 概要 1
2. 解析コード使用実績有無に対する識別 2

参考資料-1 計算機プログラム(解析コード)の概要

■ : 商業機密の観点から公開できない箇所

1. 概要

本資料は、再処理施設及びMOX燃料加工施設の耐震計算に用いる計算機プログラム又は解析コード（以下、「解析コード」という。）に対する、第1回設工認申請の、以下に示す添付書類について補足説明するものである。

- ・再処理施設 添付書類「IV-3 計算機プログラム(解析コード)の概要」
- ・MOX燃料加工施設 添付書類「III-3 計算機プログラム(解析コード)の概要」

本資料においては、第1回設工認申請における解析コードを使用する対象設備、使用用途を示すとともに、各解析コードの先行プラントを含む使用実績の有無を整理する。

また、使用実績のない解析コードに対して、検証及び妥当性確認の内容を示す事で、当該解析コードを使用することが妥当である事を示す。

さらに、補足説明資料でのみ使用している解析コードに対し、先行プラントを含む使用実績の有無を本資料に示す。

2. 解析コード使用実績有無に対する区分け

解析コードの使用実績としては、既設工認及び先行プラントの工認における使用実績の有無の他、使用実績の有る同一の解析コードであってもバージョン違いが存在することから、これらに対する区分けを行う。区分けの方法について以降に示す。

2.1 添付書類において使用する解析コードの区分け

添付書類において使用している解析コードについて、図 2.1-1 に示すフローに基づき A～C の区分に分類する。表 1 に各区分に応じた確認結果を示す別紙 1～3 の内容を示す。

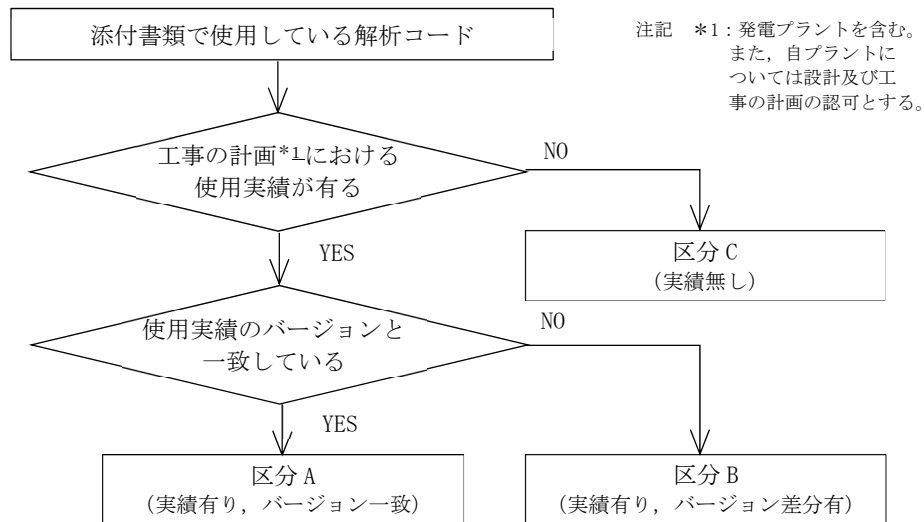


図 2.1-1 添付書類における区分フロー

表 1 区分に応じた別紙の内容(添付書類にて使用する解析コード)

別紙			別紙における記載内容
番号	名称	区分	
1	添付書類において使用した解析コードリスト	A～C	添付書類で使用した解析コードに対する、既設工認、先行発電プラントでの使用実績の整理結果。
2	工事の計画*2において使用された解析コードとのバージョンの差分が有る解析コードリスト	B	<u>使用された解析コードにおいて、同一の使用用途でありバージョンアップに伴う変更点が解析結果に影響を及ぼさないことの確認内容を示す。</u>
3	工事の計画*2において使用実績のない解析コードリスト	C	<u>実績のない解析コードにおいて、使用用途、概略、検証の概要及び妥当性確認の概要を示す。*3</u>

*2：発電プラントを含む。また、自プラントについては設計及び工事の計画の認可とする。

*3：工事の計画にて使用実績がある解析コードで使用用途が異なる場合は使用実績のない解析コードとして区分Cに分類する。

2.2 補足説明資料において使用する解析コードの区分け

補足説明資料において使用している解析コードは、添付書類と同一のもの、補足説明資料のみで使用しているものがあり、これらを踏まえた区分けとして、図 2.2-1 に示すフローに基づき D～F の区分に分類する。表 2 に各区分に応じた確認結果を示す別紙 4～6 の内容を示す。

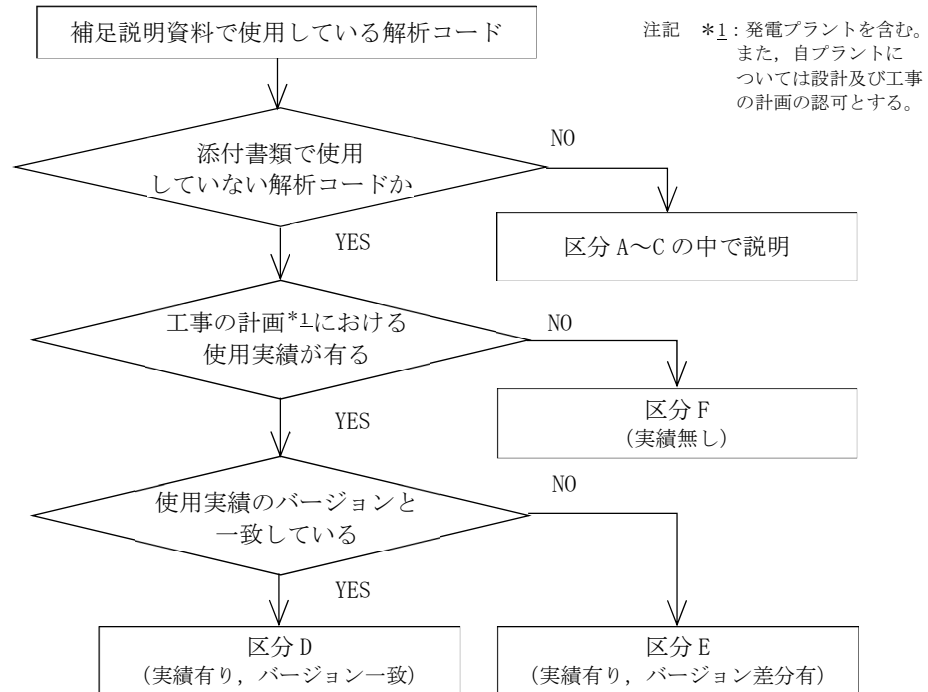


図 2.2-1 補足説明資料における区分フロー

表 2 区分に応じた別紙の内容(補足説明資料にて使用する解析コード)

別紙			別紙における記載内容
番号	名称	区分	
4	補足説明資料のみで使用している解析コードリスト	D～F	補足説明資料の解析に使用しているが、添付書類では示していない解析コードに対する、既設工認、先行発電プラントでの使用実績の整理結果。
5	工事の計画*2において使用された解析コードとのバージョンの差分が有る解析コードリスト	E	<u>使用された解析コードにおいて、同一の使用用途でありバージョンアップに伴う変更点が解析結果に影響を及ぼさないことの確認内容を示す。</u>
6	解析コードの概要、検証及び妥当性確認の詳細	F	<u>実績のない解析コードにおいて、使用用途、概略、検証の概要及び妥当性確認の内容を示す。*</u> ³

*2: 発電プラントを含む。また、自プラントについては設計及び工事の計画の認可とする。

*3: 工事の計画にて使用実績がある解析コードで使用用途が異なる場合は使用実績のない解析コードとして区分 C に分類する。

別紙

耐震建物29【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】

資料No.	別紙		備考	
	名称	提出日	Rev	
別紙1	解析コードリスト(添付資料で使用する解析コード)	8/5	3	
別紙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がある 解析コードリスト(添付資料で使用する解析コード)	8/5	3	
別紙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 (添付資料で使用する解析コード)	8/5	3	
別紙4	解析コードリスト(補足説明資料で使用する解析コード)	8/5	3	
別紙5	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がある 解析コードリスト(補足説明資料で使用する解析コード)	5/27	0	
別紙6				
別紙7				
別紙8				
別紙9				
別紙10				
別紙11				
別紙12				
別紙13				
別紙14				
別紙15				

別紙 1

(添付書類で使用する解析コード)

解析コードリスト

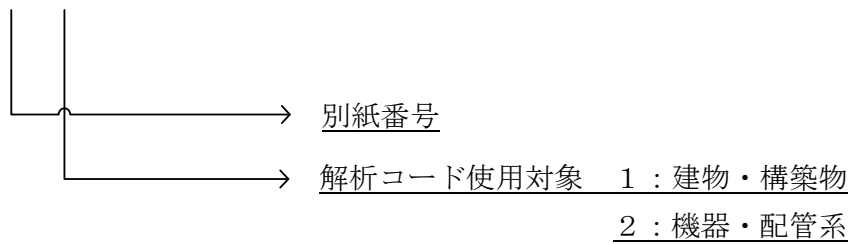
目次

別紙1-1 解析コードリスト (建物・構築物)

別紙1-2 解析コードリスト (機器・配管系)

(注記) 別紙番号は以下のとおり，解析コードの使用対象等により枝番を附番する。

別紙1-〇



別紙 1 - 1

解析コードリスト (建物・構築物)

解析コードリスト (建物・構築物) (第1回申請対象) (1/3)

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	使用用途	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	資料番号	バージョン	対象設備	使用用途	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	1次元波動論に基づく入力地震動の策定	○	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	1次元波動論に基づく入力地震動の策定	○	IV-2-1-1-1-1-1	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	質点系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	質点系モデルにおける基礎底面地盤ばね算定	○	IV-2-1-1-1-1-1	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 (*1)	安全冷却水B冷却塔	質点系モデルによる地震応答解析	○	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	質点系モデルによる地震応答解析	○	IV-2-1-1-1-1-1	建物・構築物	安全冷却水B冷却塔の地震応答計算書	バージョンの差分有り (別紙2-1にて示す)
4	MSC NASTRAN	MSC Software Corporation	Ver. 2013.1.0	Ver. 2021.3 (*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13-17-2-2	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	○	IV-2-1-1-1-1-2	建物・構築物	安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書	バージョンの差分有り (別紙2-1にて示す)
5	MSC NASTRAN	MSC Software Corporation	Ver. 2013.1.0	Ver. 2021.3 (*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13-17-2-2	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	○	IV-2-3-1-1-1 別紙1	建物・構築物	安全冷却水B冷却塔基礎の水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価結果	バージョンの差分有り (別紙2-1にて示す)
6	FLIP	一般社団法人FLIPコンソーシアム	Ver. 7.4.1	Ver. 8.0.3 (*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B)	2次元有限要素法による地震応答解析 (全応力・有効応力)	○	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-2-2-21	Ver. 7.4.1	常設代替交流電源設備基礎 (間接支持構造物)	2次元有限要素法による地震応答解析 (全応力・有効応力)	○	IV-2-2-2-1-2-1-1	建物・構築物	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B) の地震応答計算書	
7	midas iGen	MIDAS IT	Ver. 845	Ver. 900 (*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B)	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次元有限要素法による応力解析	○	IV-2-2-2-1-2-1-2	建物・構築物	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B) の耐震計算書	バージョンの差分有り (別紙2-1にて示す)
8	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 (*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B)	3次元有限要素法による応力解析	○	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	資料3-18-2-4	Ver. 3.05	屋外タンクエリア竜巻防護ネット	3次元有限要素法による応力解析	○	IV-2-2-2-1-2-1-2	建物・構築物	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B) の耐震計算書	バージョンの差分有り (別紙2-1にて示す)

* 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。

□ : バージョンの差分について示しており, 異なるバージョンの解析プログラムの妥当性については別紙2で示す。

解析コードリスト (建物・構築物) (第1回申請対象) (2/3)

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	使用用途	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	資料番号	バージョン	対象設備	使用用途	原子力産業界 一般産業界	資料番号	分類		資料名称
9	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	質点系モデルによる地震応答解析	○	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-別添2-1	Ver. 2.0	原子炉建屋, コントロール建屋, タービン建屋, 廃棄物処理建屋	質点系モデルによる地震応答解析	○	IV-2-4-2-1-1-1-1	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	
10	ST-CROSS	株式会社竹中工務店	Ver. 1.0	Ver. 1.0	燃料加工建屋	質点系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	質点系モデルにおける底面地盤ばねの算定	○	III-2-1-1-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の地震応答計算書	
11	NOVAK	株式会社竹中工務店	Ver. 1.0	Ver. 1.0	燃料加工建屋	質点系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	質点系モデルにおける側面地盤ばねの算定	○	III-2-1-1-1-1-1	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	1次元波動論に基づく入力地震動の策定	○	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-2-2-5	Ver. 20121030	タービン建屋	1次元波動論に基づく入力地震動の策定	○	III-2-1-1-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の地震応答計算書	
13	TDAS	株式会社竹中工務店	Ver. 20121030	Ver. 20121030	燃料加工建屋	質点系モデルによる地震応答解析	○	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-2-2-5	Ver. 20121030	タービン建屋	質点系モデルによる地震応答解析	○	III-2-1-1-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の地震応答計算書	
14	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-2-1-1-1-1-1 別紙1	建物・構築物	燃料加工建屋の地盤の非線形性に関する確認	使用実績無し (別紙3-1に示す)
15	MSC NASTRAN	MSC Software Corporation	Ver. 2012.1.0	Ver. 2021.3(*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-2-1-1-1-1-2	建物・構築物	燃料加工建屋の耐震計算書	
16	MSC NASTRAN	MSC Software Corporation	Ver. 2012.1.0	Ver. 2021.3(*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-2-3-1-1-1 別紙1	建物・構築物	燃料加工建屋の水平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	
17	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(*1)	燃料加工建屋	質点系モデルによる地震応答解析	○	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	補足10-6	Ver. 3.05	原子炉格納施設, 原子炉補助建屋, 燃料取扱建屋, ディーゼル建屋, 主蒸気管室建屋	質点系モデルによる地震応答解析	○	III-2-4-2-1-1-1-1	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	バージョンの差分有り (別紙2-1にて示す)
18	ST-CROSS	株式会社竹中工務店	Ver. 1.0	Ver. 1.0	燃料加工建屋	質点系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	質点系モデルにおける底面地盤ばねの算定	○	III-6-2-1-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の基準地震動 S _s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	
19	NOVAK	株式会社竹中工務店	Ver. 1.0	Ver. 1.0	燃料加工建屋	質点系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	質点系モデルにおける側面地盤ばねの算定	○	III-6-2-1-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の基準地震動 S _s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	
20	TDAS	株式会社竹中工務店	Ver. 20121030	Ver. 20121030	燃料加工建屋	1次元波動論に基づく入力地震動の策定	○	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-2-2-5	Ver. 20121030	タービン建屋	1次元波動論に基づく入力地震動の策定	○	III-6-2-1-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の基準地震動 S _s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	

* 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。

□ : バージョンの差分について示しており、異なるバージョンの解析プログラムの妥当性については別紙2で示す。

□ : 解析コードの使用実績が無いことを示しており、解析コードの概要及び検証内容については別紙3に示す。

解析コードリスト (建物・構築物) (第 1 回申請対象) (3 / 3)

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	使用用途	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	資料番号	バージョン	対象設備	使用用途	原子力産業界 一般産業界	資料番号	分類		資料名称
21	TDAS	株式会社竹中工務店	Ver. 20121030	Ver. 20121030	燃料加工建屋	質点系モデルによる地震応答解析	○	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-2-2-5	Ver. 20121030	タービン建屋	質点系モデルによる地震応答解析	○	Ⅲ-6-2-1-1-1-1	建物・構築物	燃料加工建屋の基準地震動 S s を1.2倍した地震力に対する地震応答計算書	
22	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-6-2-1-1-1-1 別紙1	建物・構築物	燃料加工建屋の地盤の非線形性に関する確認	使用実績無し (別紙3-1に示す)

× : 別紙 3 にて示す理由となる先行プラントでの使用実績が無い箇所を明確化

別紙 1 - 2

解析コードリスト (機器・配管系)

解析コードリスト（機器・配管系）（第1回申請対象）（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	使用用途	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	資料番号	バージョン	対象設備	使用用途	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. 2021.3 (*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-2-1-4-1(1)	機器・配管系	安全冷却水B 冷却塔 []の耐震計算書	
2	MSC NASTRAN	MSC. Software Corporation	Ver. 2008.0.0	Ver. 2021.3 (*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-2-1-4-1(1)	機器・配管系	安全冷却水B 冷却塔 []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-1-1-11-1 別紙1-1	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-B	辰星技研株式会社	V1.3	V1.8 (*1)	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	使用実績無し（別紙3-2に示す）
5	応答スペクトル	関西設計株式会社	r2.06	r2.06	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	×	-	-	-	-	-	-	-	III-1-1-6	機器・配管系	設計用床応答曲線の作成方針	使用実績無し（別紙3-2に示す）

*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3にて示す理由となる先行プラントでの使用実績が無い箇所を明確化

別紙 2

(添付書類で使用する解析コード)

工事の計画において使用された解析コードとの
バージョンの差分が有る解析コードリスト

目 次

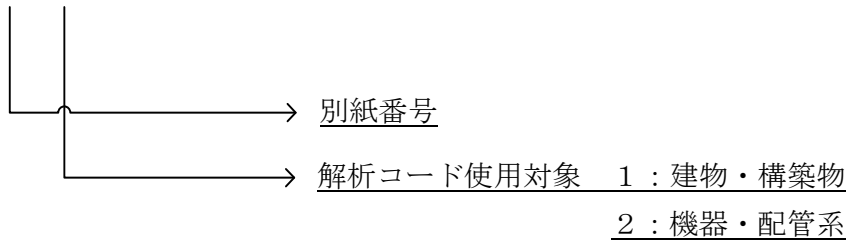
別紙 2-1 工事の計画において使用された解析コードとのバージョンの差分が有る解析コードリスト (建物・構築物)

別紙 2-2 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が有る解析コードリスト (機器・配管系)

 : 後次回申請において提示

(注記) 別紙番号は以下のとおり，解析コードの使用対象等により枝番を附番する。

別紙 2-〇



別紙 2 - 1

工事の計画において使用された解析コードとの
バージョンの差分が有る解析コードリスト
(建物・構築物)

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が有る解析コードリスト（建物・構築物）（第1回申請対象）（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	使用用途	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	対象工事件名	資料番号	バージョン	対象設備		使用用途
3	IV-2-1-1-1-1-1	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	安全冷却水B冷却塔	質点系モデルによる地震応答解析	○	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	質点系モデル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-2-1-1-1-1-2	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13-17-2-2	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	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-2-3-1-1-1 別紙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13-17-2-2	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	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
7	IV-2-2-2-1-2-1-2	midas iGen	MIDAS IT	Ver. 845	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B)	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
8	IV-2-2-2-1-2-1-2	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	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B)	3次元有限要素法による応力解析	○	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	資料3-18-2-4	Ver. 3.05	屋外タンクエリア竜巻防護ネット	3次元有限要素法による応力解析	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
17	III-2-4-2-1-1-1-1	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	質点系モデルによる地震応答解析	○	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	補足10-6	Ver. 3.05	原子炉格納施設, 原子炉補助建屋, 燃料取扱建屋, ディーゼル建屋, 主蒸気管室建屋	質点系モデル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で付番したNo.を用いる。

別紙 3

(添付書類に使用する解析コード)

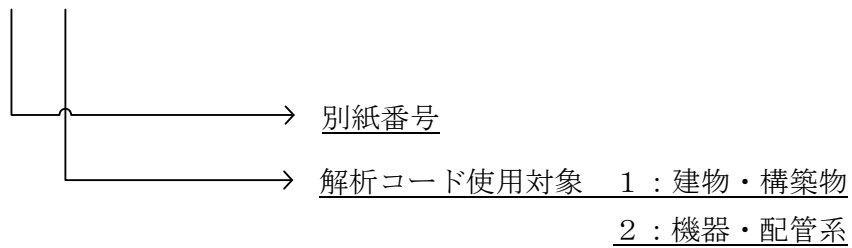
工事の計画において使用実績のない
解析コードリスト

目 次

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

(注記) 別紙番号は以下のとおり，解析コードの使用対象等により枝番を附番する。

別紙 3-〇



別紙 3 - 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（建物・構築物）

工事の計画において使用実績のない解析コードリスト（建物・構築物）（第1回申請対象）（1 / 1）

No*	解析コード名	使用したバージョン	対象設備	使用用途	概略	検証 (Verification) の概要	妥当性確認 (Validation) の概要	分類
14・22	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	<p>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。</p> <p>地盤の非線形モデルとして、標準的なモーダル・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。</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"> 地盤の逐次非線形応答解析について、地盤のせん断ひずみが1%を超える条件を模擬した検証として、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>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"> <u>上述の検証の内容のとおり、使用目的と整合した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。</u> 本申請における解析では地盤のせん断ひずみが1%を超える領域での解析を行うことに対し、地盤のせん断ひずみが1%を超える条件を模擬した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。 調査結果から得られたひずみ依存特性と整合する動的特性を考慮できるYTモデルを設定可能な本解析コードを用いることは、本申請における解析の目的に照らして妥当である。 	建物・構築物

* : No. は別紙 1 - 1 で付番したNo. を用いる。

別紙 3 - 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（機器・配管系）

工事の計画において使用実績のない解析コードリスト（機器・配管系）（第1回申請対象）（1/1）

No*	解析コード名	使用したバージョン	対象設備	使用用途	概略	検証 (Verification) の概要	妥当性確認 (Validation) の概要	分類
4	FACT-B	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	<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幅を行う。</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>	<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機能であり、拡幅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、入力と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、妥当性は確認している。 	機器・配管系
5	応答スペクトル	r2.06	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	<p>応答スペクトル_r2.06（以下、「本解析コード」という。）は、加速度応答スペクトル作成プログラムであり、建物・構築物の加速度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、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>	<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機能であり、拡幅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、妥当性は確認している。 	機器・配管系

* : No. は別紙1-2で付番したNo.を用いる。

別紙4

(補足説明資料に使用する解析コード)

解析コードリスト

目 次

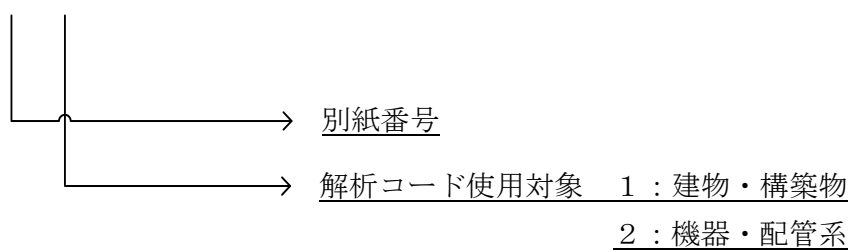
別紙 4-1 解析コードリスト (建物・構築物)

別紙 4-2 解析コードリスト (機器・配管系)

: 後次回申請において提示

(注記) 別紙番号は以下のとおり、解析コードの使用対象等により枝番を附番する。

別紙 4-〇



別紙4－1

解析コードリスト（建物・構築物）

解析コードリスト（建物・構築物）（第1回申請対象）（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	使用用途	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	資料番号	バージョン	対象設備	使用用途	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 (*1)	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	○	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	補足-025別紙4	Ver. 2012.1.0	タービン建屋	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 (*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. 2016.1.1	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	
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 (*1)	Ver. 3.10	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B）	3次元有限要素法による時刻歴応答解析	○	伊方3号	新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料13-18-2	Ver. 3.05	タービン建屋	3次元有限要素法による時刻歴応答解析	○	耐震建物23	建物・構築物	波及的影響の設計対象とする下位クラス施設（飛来物防護ネット）の耐震計算書についての補足説明資料	バージョンの差分有り（別紙5-1にて示す）

* 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。

□：バージョンの差分について示しており、異なるバージョンの解析プログラムの妥当性については別紙2で示す。

別紙5

(補足説明資料に使用する解析コード)

工事の計画において使用された解析コードとの
バージョンの差分がある解析コードリスト

目 次

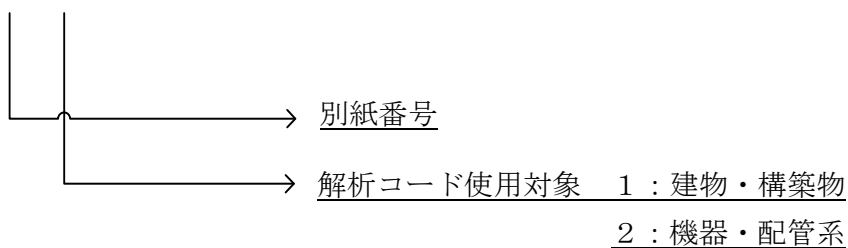
別紙 5 - 1 工事の計画において使用された解析コードとのバージョンの差分がある解析コードリスト (建物・構築物)

別紙 5 - 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がある解析コードリスト (機器・配管系)

: 後次回申請において提示

(注記) 別紙番号は以下のとおり、解析コードの使用対象等により枝番を附番する。

別紙 5 - ○



別紙5－1

工事の計画において使用された解析コードとの
バージョンの差分が有る解析コードリスト
(建物・構築物)

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が有る解析コードリスト（建物・構築物）（第1回申請対象）（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	使用用途	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	資料番号	バージョン	対象設備		使用用途
3	耐震建物23	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	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B)	3次元有限要素法による時刻歴応答解析	○	伊方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13-18-2	Ver. 3.05	タービン建屋	3次元有限要素法による時刻歴応答解析	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4-1で付番したNo.を用いる。

別紙6

(補足説明資料に使用する解析コード)

解析コードの概要，検証及び妥当性確認の詳細

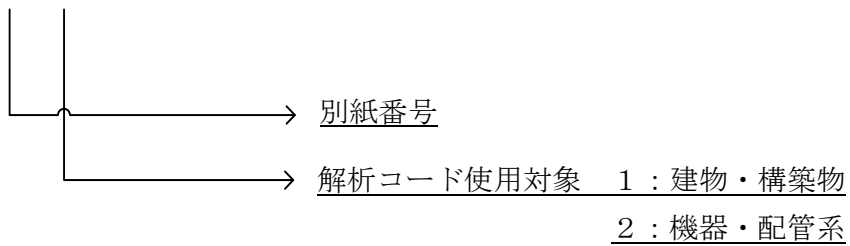
目 次

別紙 6-1 解析コードの概要, 検証及び妥当性確認の詳細 (建物・構築物)
別紙 6-2 解析コードの概要, 検証及び妥当性確認の詳細 (機器・配管系)

：後次回申請において提示

(注記) 別紙番号は以下のとおり, 解析コードの使用対象等により枝番を附番する。

別紙 6-〇



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	5
参考資料-1-3	MuDIAN	8
参考資料-1-4	FACT-B	<u>22</u>
参考資料-1-5	応答スペクトル.....	<u>32</u>

参考資料－ 1 － 1

FLIP

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	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。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、港湾の施設的设计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> <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。
--	---

参考資料－ 1 － 2

NAPISOS

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-4-2-1 -1-1- <u>1</u>	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	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 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> <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 <u>工事計画認可申請</u>において, <u>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。</u> 本申請において使用するバージョンは, <u>上記の先行施設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。</u> 上述の検証の内容のとおり, <u>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実績ある他コードとの比較を実施し, 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。</u>

参考資料－ 1 － 3

MuDIAN

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅲ-2-1-1 -1-1-1	燃料加工建屋の地震応答計算書 別紙 1 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-6-2-1 -1-1	燃料加工建屋の基準地震動を 1.2 倍した地震力に対する耐震性評価結果 別紙 1 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

項目 \ コード名	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	逐次非線形解析を用いた入力地震動の算定
コードの概要	<p>MuDIAN（以下、「本解析コード」という。）は、主に地盤の逐次非線形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。</p> <p>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。</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"> ・地盤の逐次非線形解析について、地盤のせん断ひずみが1%を超える条件を模擬した検証として、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)】 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、<u>逐次非線形解析を用いた入力地震動の算定に対して本解析コードと実績ある他コードの解析解との比較を実施し、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逐次非線形解析を用いた入力地震動の算定に使用することは妥当である。</u> ・本申請における解析では地盤のせん断ひずみが 1%を超える領域での解析を行うことに対し、地盤のせん断ひずみが 1%を超える条件を模擬した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。 ・調査結果から得られたひずみ依存特性と整合する動的特性を考慮できる YT モデルを設定可能な本解析コードを用いることは、本申請における解析の目的に照らして妥当である。

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モデルを使用可能である。
- なお、本解析コードは、多自由度系の振動方程式及び時間積分法を用いて地盤の逐次非線形解析を行う解析プログラムである。

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。

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

(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。

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

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

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

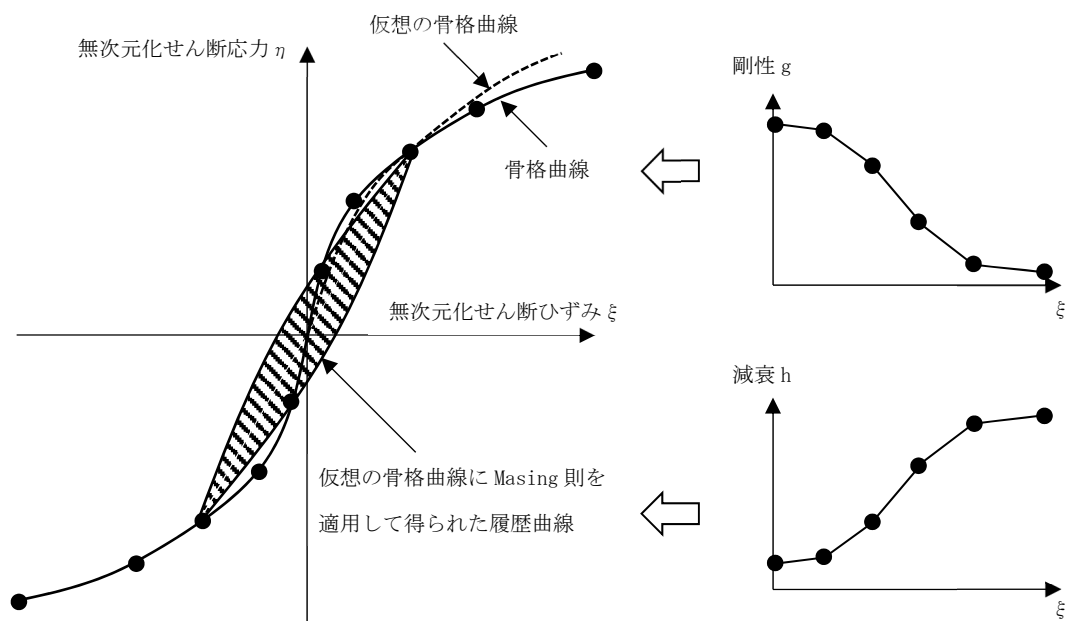
3.3.4 YTモデルによる非線形特性

本申請における燃料加工建屋の逐次非線形解析については、地盤の非線形特性（応力-ひずみ関係）として、入力値に地盤の骨格剛性を直接定義可能なYTモデルを設定できる本解析コードを用いている。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。

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

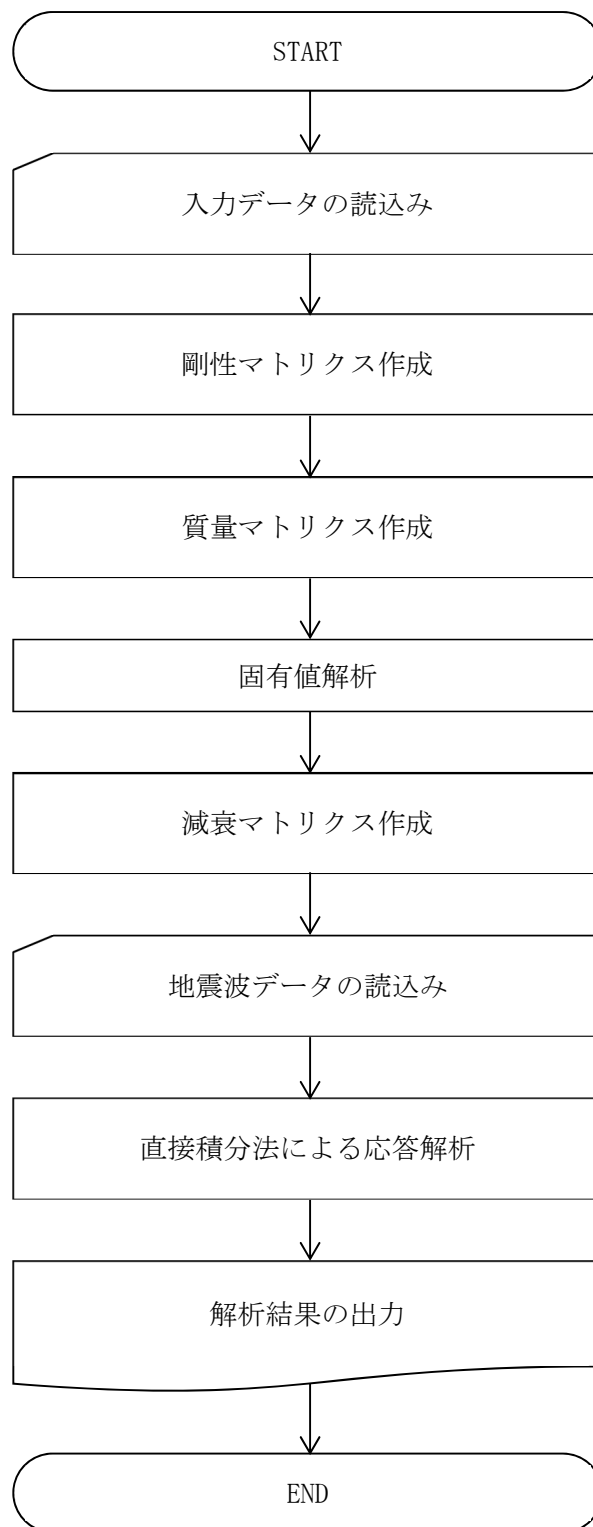
これを $\tau-\gamma$ 平面にプロットし、これらの点を繋ぐことで、実験値と完全に一致する骨格曲線が得られる。また、履歴曲線に関しては、1 サイクルあたりの履歴減衰が $h-\gamma$ 曲線から得られる減衰定数 h と等しくなるように、仮定の骨格曲線を双曲線で定義する。これらのせん断ひずみに対する非線形のモデル化の概念図を第3.3.4-1図に示す。



第3.3.4-1図 YTモデルによる非線形特性の設定

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

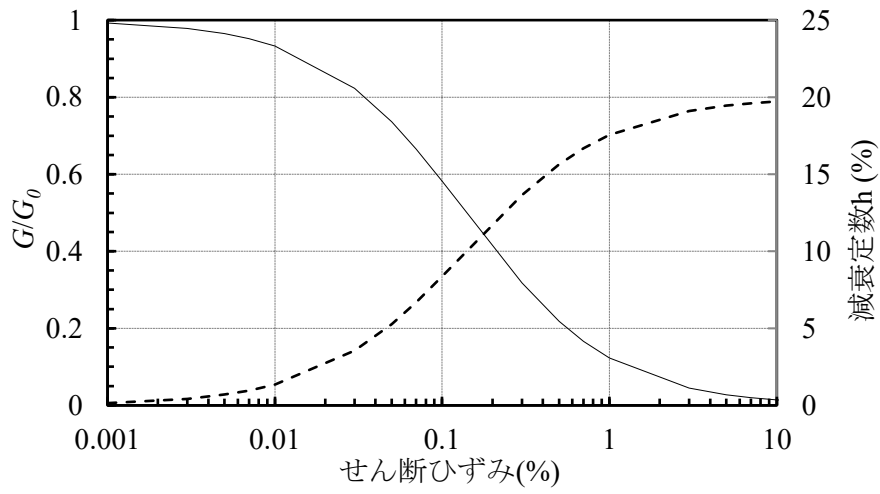
地盤の逐次非線形解析について、地盤のせん断ひずみが 1%を超える条件を模擬した検証として、同じ地盤モデルの例題に対して、同じ非線形モデルを用いて実施した本解析コードによる解析解と、発電用原子炉施設の工事計画認可申請において使用実績のある FLIP による解析解を比較することで、本プログラムの検証を行った。なお、比較に用いる FLIP は、別途検証が実施されたバージョンのものを用いる。

(2) 検証条件

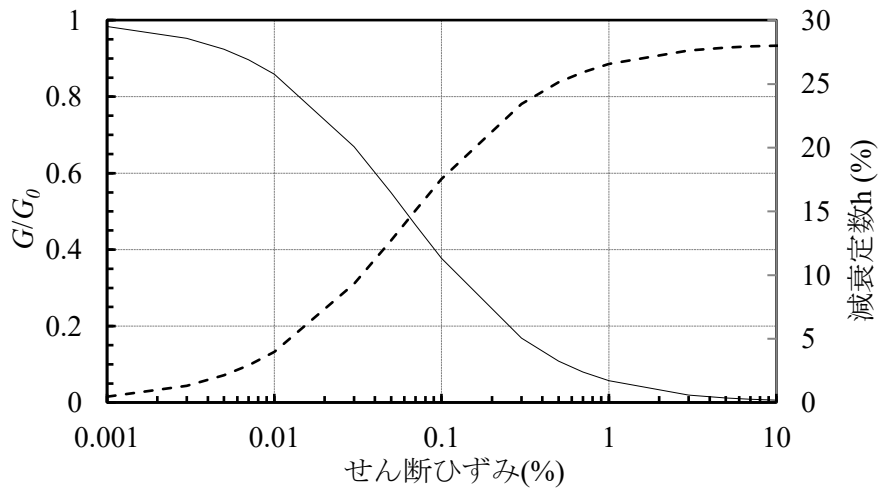
検証を行う地盤モデルの初期物性値を第 3.5.1-1 表、地盤の非線形特性を第 3.5.1-1 図及び第 3.5.1-2 図に示す。地盤モデルは、燃料加工建屋の入力地震動算定に用いる地盤モデルのうち、表層地盤と同程度の地盤物性を想定し、 $V_s=100\text{m/s}\sim 400\text{m/s}$ 程度の地盤を設定した。検証に用いる入力地震波は第 3.5.1-3 図に示す ElCentro 地震波を用いる。

第 3.5.1-1 表 地盤の初期物性値

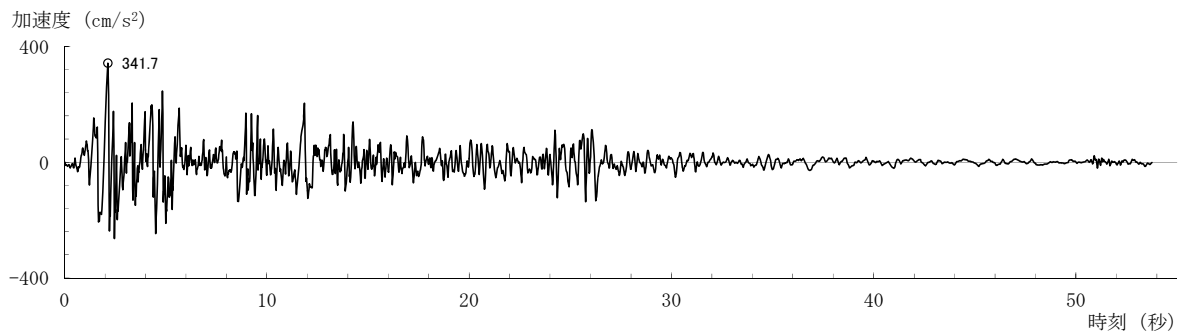
区分	層厚 (m)	分割 (m)	深度 (m)	単位体積重量 (kN/m^3)	せん断波速度 (m/s)	せん断弾性係数 (kN/m^2)
第1層	4.00	1.00	1.00	17	110	20,976
		1.00	2.00	17	110	20,976
		1.00	3.00	17	110	20,976
		1.00	4.00	17	110	20,976
	10.80	1.20	5.20	16	124	25,087
		1.20	6.40	16	124	25,087
		1.20	7.60	16	124	25,087
		1.20	8.80	16	124	25,087
		1.20	10.00	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	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	35.60	20	375	286,795	
	基盤			20	442	398,432



第 3.5.1-1 図 第 1 層のひずみ依存特性



第 3.5.1-2 図 第 2 層のひずみ依存特性



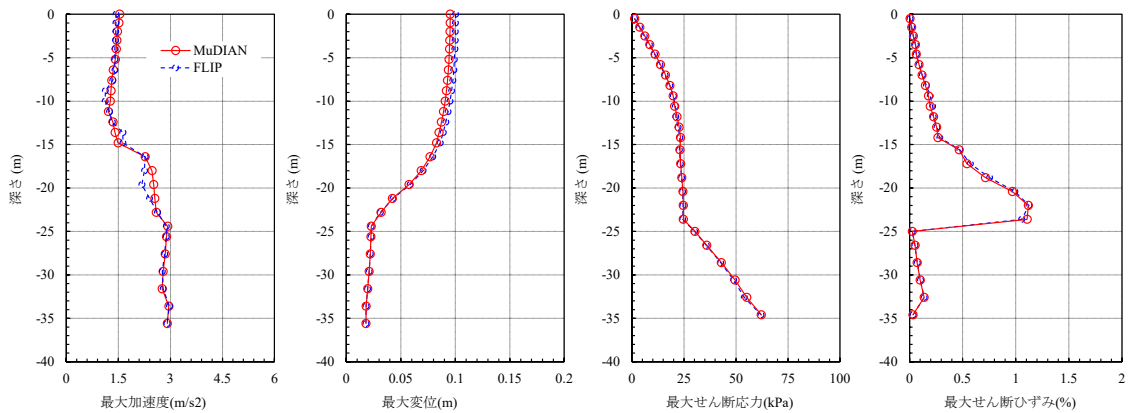
第 3.5.1-3 図 入力地震波の加速度時刻歴波形

(3) 地盤モデルの非線形特性

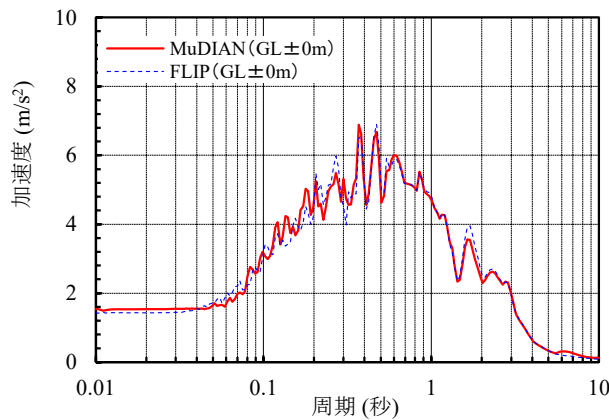
検証における地盤の非線形特性の設定にあたっては、本解析コード及びFLIPにおいて解析条件を可能な限り合わせるために、両解析コードで設定することのできる双曲線モデルを用いることとした。

(4) 解析結果の比較

地盤の最大応答値を第 3.5.1-4 図、地表面による加速度応答スペクトルを第 3.5.1-5 図に示す。本解析コードと FLIP の解析解は応答スペクトルの一部周期において若干の差が生じているものの概ね整合している。最大応答値の分布傾向や卓越周期はよく整合していることを確認した。



第 3.5.1-4 図 地盤の最大応答値



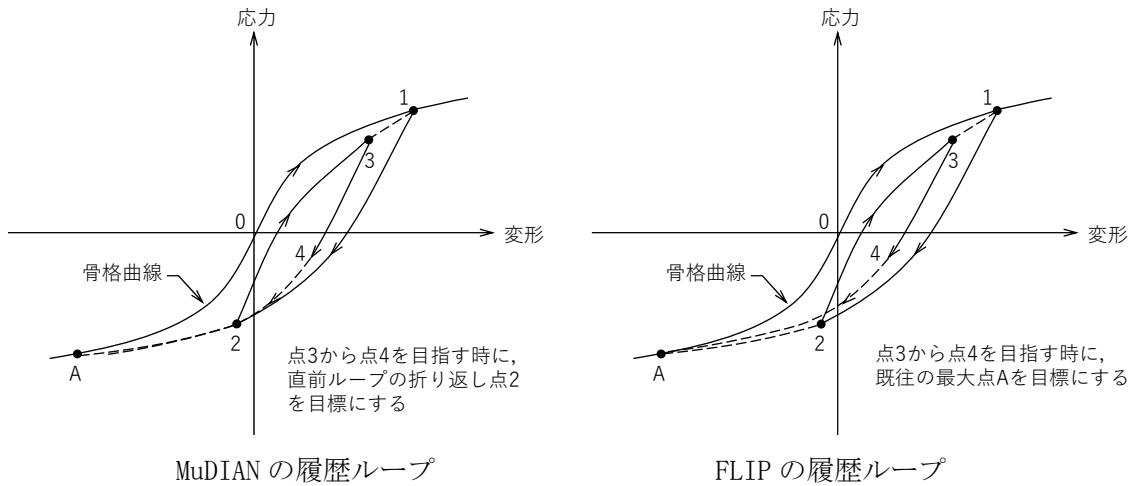
第 3.5.1-5 図 地表面による加速度応答スペクトル (h=3%)

(5) 解析結果の考察

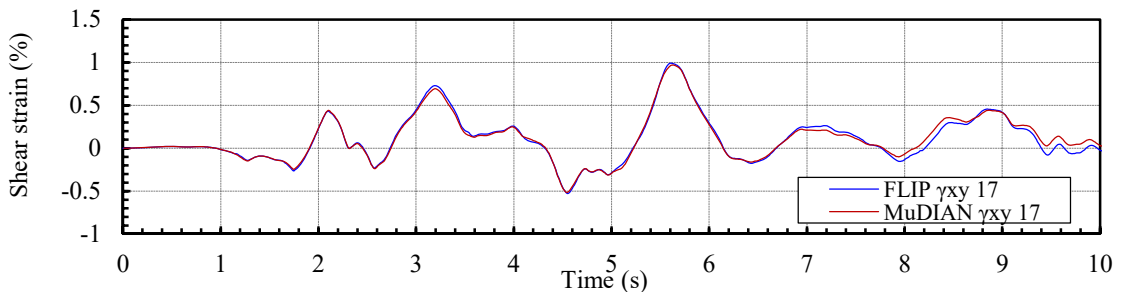
本解析コードと FLIP の解析解について、地表面の加速度応答スペクトルの一部周期において若干の差が生じていることから、その差が生じた要因について、両プログラムにおける設定の違いを確認した。

一部周期における差については、第 3.5.1-6 図に示す履歴ループの概念図のとおり、両解析コードにおける履歴ループの考え方の違いにより発生したと考えられる。第 3.5.1-7 図に示す地盤の時刻歴せん断ひずみのとおり、両解析コードにおける解析解について、最大ひずみ及び経時特性はよく整合していることから、履歴ループの考え方の違いは、地盤の非線形挙動に対して有意な差は与えていない。

このことから、逐次非線形解析としてはいずれの解析コードにおいても適切に行われており、検証として問題となるものではない。



第 3.5.1-6 図 両解析コードにおける履歴ループの概念図



第 3.5.1-7 図 地盤のせん断ひずみ (時刻歴)

(6) 検証結果

本解析コードの解析解は、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 の解析解と比較して、解析結果は整合的であり、さらに地盤の非線形挙動も整合していることを確認した。

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。

- ・ 本申請における本解析コードの使用目的は地盤の逐次非線形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。
- ・ 本申請における解析では、地盤のせん断ひずみが 1%を超える領域での解析を行うことに対し、「3.5.1 検証 (Verification)」に示したとおり、検証にあたっては地盤のせん断ひずみが 1%を超える条件を模擬していることから、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。
- ・ 本申請における解析では、ひずみ依存特性を変動させたパラメータスタディを行っていることから、「3.3.4 YT モデルによる非線形特性」に示したとおり、地盤の骨格剛性を直接定義できる YT モデルを設定可能な本解析コードを用いることは、本申請における解析の目的に照らして妥当である。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より、本解析コードを燃料加工建屋の地盤の逐次非線形解析に用いることは妥当である。

4. 参考文献

- (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)
- (2) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Parameter Identification for a Cyclic Mobility Model, Rep. of the Port and Harbour Res. Inst. Vol. 29, No. 4, pp. 57-83, 1990.

参考資料－ 1 － 4

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 1-1	安全冷却水 B 冷却塔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幅を行う。</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、拡幅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-B 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、拡張した設計用床応答曲線の作成を行う。

3.2 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張した設計用床応答曲線を作成する。

3.3 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。

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

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。

$$\ddot{x}_{n+1} + 2h \cdot \omega \cdot \dot{x}_{n+1} + \omega^2 \cdot x_{n+1} = -\ddot{y}_{n+1} \quad (3.2)$$

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。

$$\ddot{x}_n = \frac{\ddot{x}_{n+1} - \ddot{x}_n}{\Delta t} \quad (3.3)$$

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。

$$\ddot{x}_{n+1} = \ddot{x}_n + \frac{\ddot{x}_{n+1} - \ddot{x}_n}{\Delta t} \Delta t \quad (3.4)$$

$$\dot{x}_{n+1} = \dot{x}_n + \Delta t \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n$$

$$=\dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_{n+1} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{6} \Delta t^3 \cdot \ddot{\ddot{x}}_n \\ &= x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{6} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_{n+1} \end{aligned} \quad (3.6)$$

時刻 t_{n+1} において成立する運動方程式(3.2)に(3.5), (3.6)を代入すると, (3.7)が得られる。

$$\begin{aligned} &\left(1 + \frac{2h \cdot \omega \cdot \Delta t}{2} + \frac{\omega^2 \cdot \Delta t^2}{6}\right) \ddot{x}_{n+1} \\ &= -\left\{\ddot{y}_{n+1} + 2h \cdot \omega \left(\dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n\right) + \omega^2 \left(x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n\right)\right\} \end{aligned} \quad (3.7)$$

(3.7)において式を簡略化するため,

$$R = 1 + \frac{2h \cdot \omega \cdot \Delta t}{2} + \frac{\omega^2 \cdot \Delta t^2}{6} \quad (3.8)$$

$$E_n = \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n \quad (3.9)$$

$$F_n = x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n \quad (3.10)$$

とおくと, (3.7)から(3.11)が得られる。

$$\ddot{x}_{n+1} = -\frac{1}{R} (\ddot{y}_{n+1} + 2h \cdot \omega \cdot E_n + \omega^2 \cdot F_n) \quad (3.11)$$

(3.11)を(3.5), (3.6)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, (3.5), (3.6), (3.11)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, $\ddot{x}_n + \ddot{y}_n$ 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。

$$x_{t=0} = 0 \quad (3.12)$$

$$\dot{x}_{t=0} = -\ddot{y}_{t=0} \cdot \Delta t \quad (3.13)$$

$$(\ddot{x} + \ddot{y})_{t=0} = 2h \cdot \omega \cdot \ddot{y}_{t=0} \Delta t \quad (3.14)$$

3.4 解析フローチャート

本解析コードを用いた解析フローチャートを図 3-1 に示す。

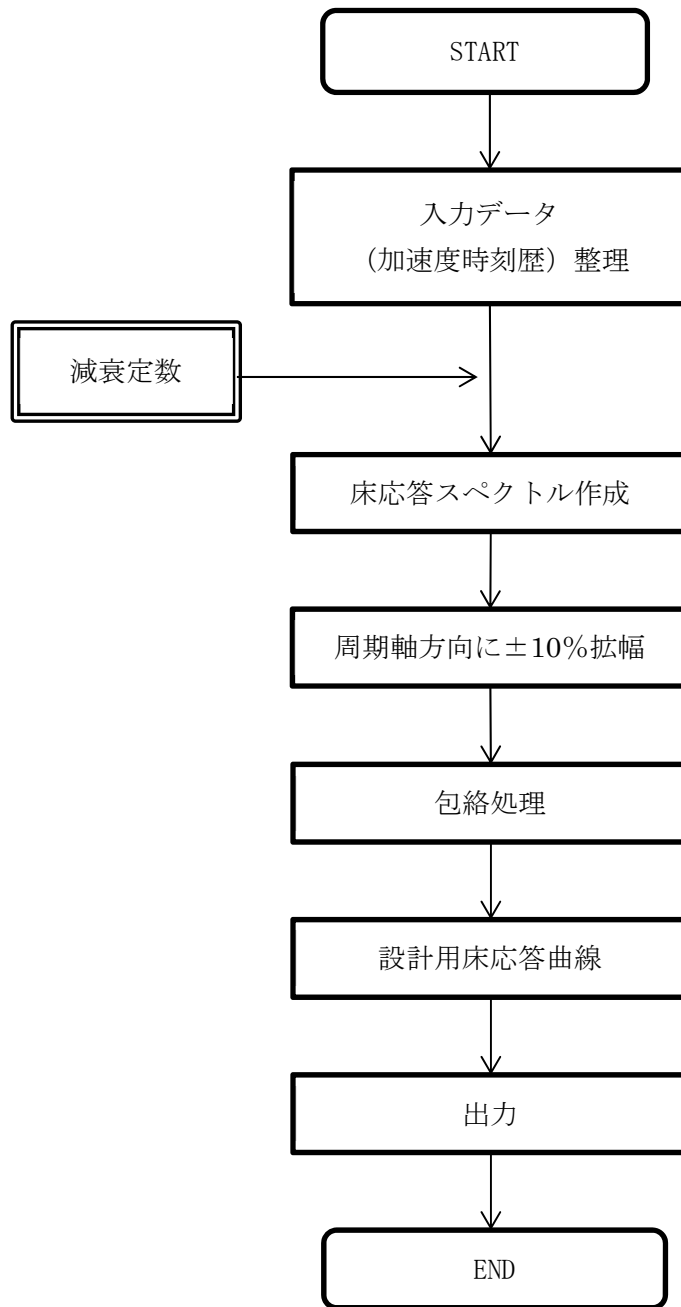


図 3-1 解析フローチャート

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

3.5.1 検証 (Verification)

(1) 検証の概要

別解析コード「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 3-1 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

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 の質点番号①及び NS 方向の床レベル 47.70m の質点番号②の S_s-A の応答を用いた。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するものうち、1.0%とした。図 3-2 に第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解析モデルを示す。

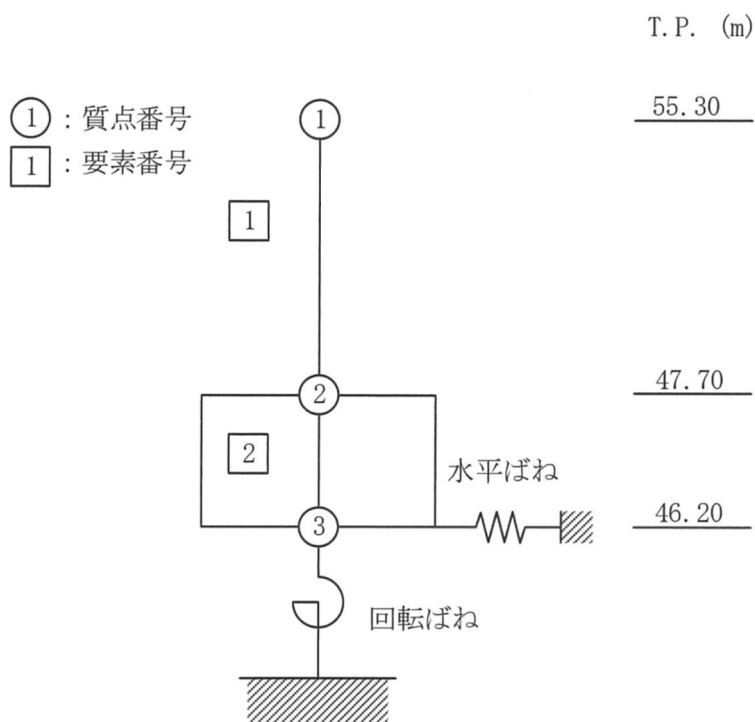


図 3-2 第1非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室地震応答解析モデル
(水平方向)

(3) 解析結果の比較

各検証条件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 3-3～図 3-6 に示す。

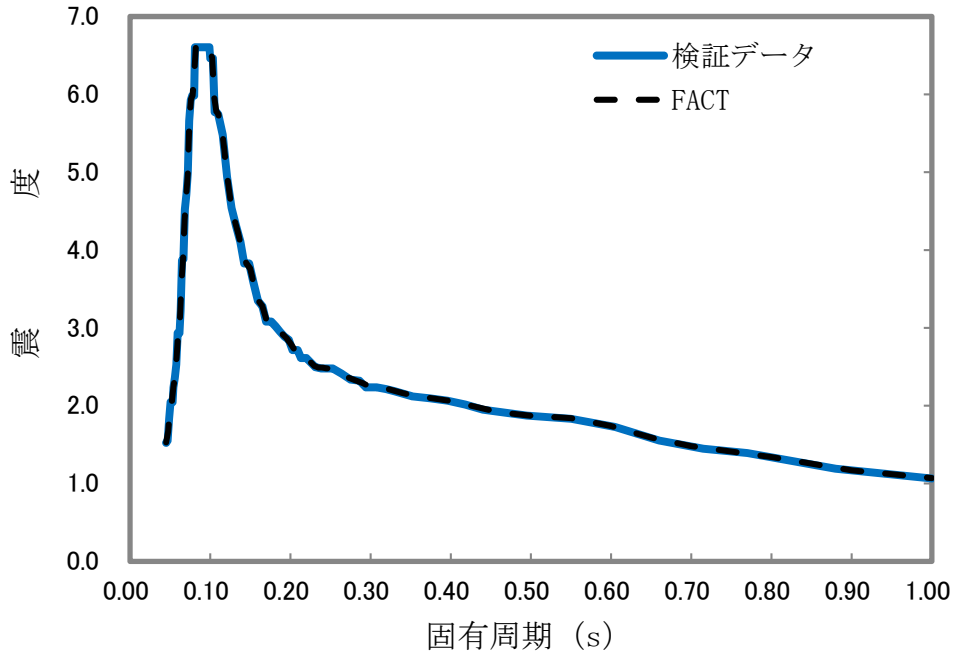


図 3-3 検証用データと本解析コードの比較結果
(EW 方向床レベル 55.30m 減衰 1.0%)

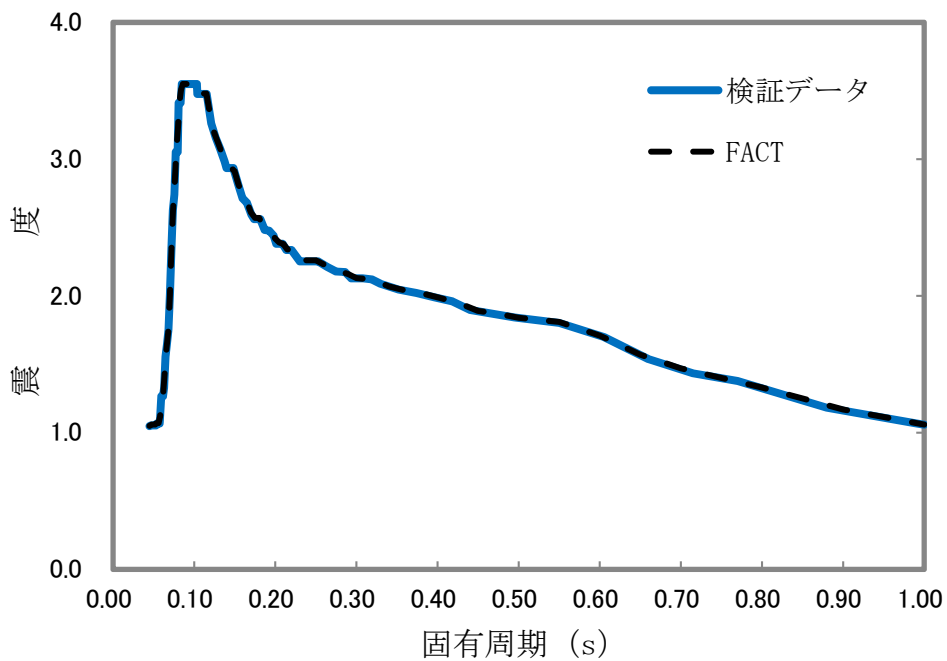


図 3-4 検証用データと本解析コードの比較結果
(NS 方向床レベル 47.70m 減衰 1.0%)

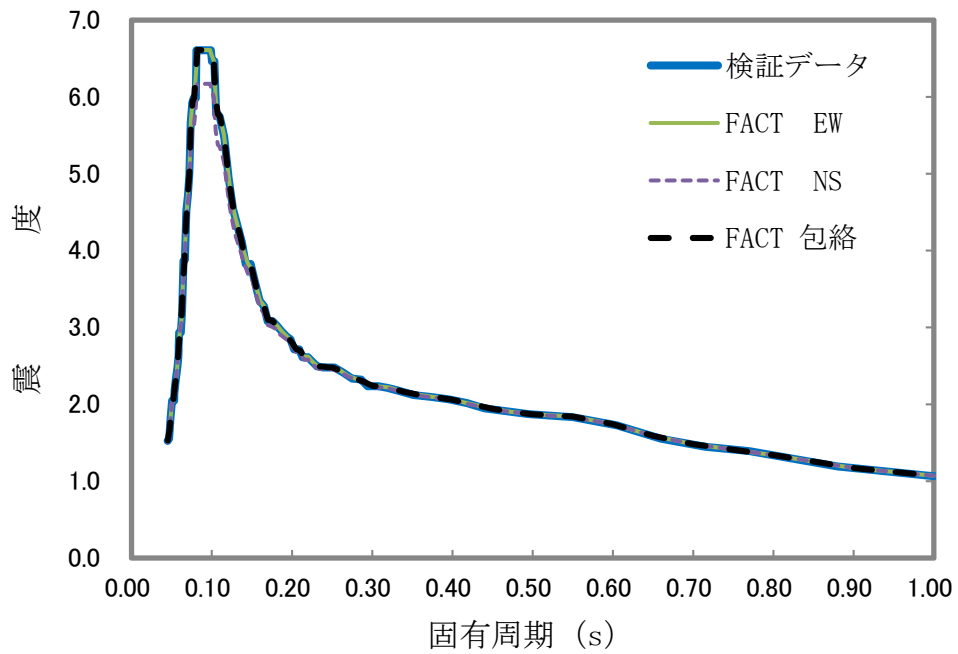


図 3-5 検証用データと本解析コードの比較結果
(水平方向包絡 床レベル 55.30m 減衰 1.0%)

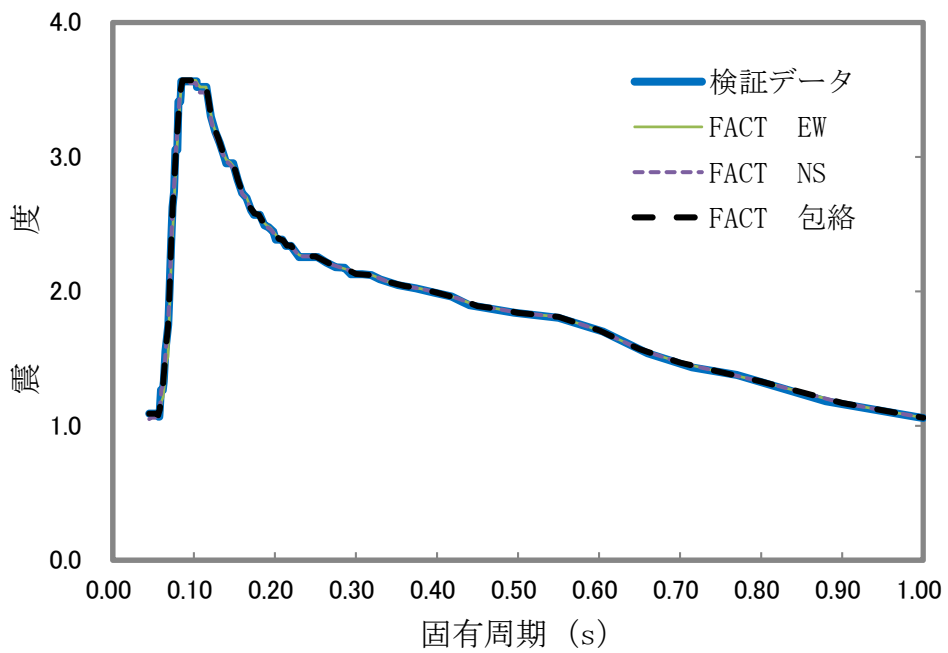


図 3-6 検証用データと本解析コードの比較結果
(水平方向包絡 床レベル 47.70m 減衰 1.0%)

(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。

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。

- ・ 本申請で使用する機能は床応答スペクトルの作成機能、拡幅機能及び包絡機能であり、同一の入力条件に対する1自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、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。
- ・ 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、妥当性は確認している。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より、本解析コードを、使用目的に示す設計用床応答曲線の作成に用いることは妥当である。

参考資料－ 1 － 5

応答スペクトル

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅲ-1-1-6	設計用床応答曲線の作成方針	r2.06
Ⅲ-6-1	燃料加工建屋の基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力の床応答スペクトル	r2.06

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	応答スペクトル
開発機関	関西設計株式会社
開発時期	2018 年
使用したバージョン	r2.06
使用目的	設計用床応答曲線作成
コードの概要	<p>応答スペクトル_r2.06（以下、「本解析コード」という。）は、加速度応答スペクトル作成プログラムであり、建物・構築物の加速度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、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「SAS」により作成した設計用床応答曲線と本解析コードで作成した設計用床応答曲線を比較し、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機能であり、拡幅機能及び包絡機能を含め使用実績がある別解析コード「SAS」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「SAS」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応答スペクトルの説明書である。

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、拡幅した設計用床応答曲線の作成を行う。

3.2 解析手法コードの特徴

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、ニガム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設計用床応答曲線を作成する。

3.3 解析手法

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

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

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

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

$$\ddot{y}(t) = \frac{\Delta \ddot{y}}{\Delta t} \tau + \ddot{y}_i \quad 0 \leq \tau \leq \Delta t \quad (3.2)$$

と表される。(3.1)式は区間的に

$$\ddot{x}(\tau) + 2h \cdot \omega \cdot \dot{x}(\tau) + \omega^2 \cdot x(\tau) = -\frac{\Delta \ddot{y}}{\Delta t} \tau - \ddot{y}_i \quad 0 \leq \tau \leq \Delta t \quad (3.3)$$

となる。この非同次微分方程式を解いて、区間のはじめ時刻 t_i における初期条件

$$\tau = 0 : x = x_i, \quad \dot{x} = \dot{x}_i \quad (3.4)$$

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

$$\left. \begin{aligned} x_{i+1} &= A_{11}x_i + A_{12}\dot{x}_i + B_{11}\ddot{y}_i + B_{12}\ddot{y}_{i+1} \\ \dot{x}_{i+1} &= A_{21}x_i + A_{22}\dot{x}_i + B_{21}\ddot{y}_i + B_{22}\ddot{y}_{i+1} \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

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

$$(\ddot{x} + \ddot{y})_{i+1} = - (2h \cdot \omega \cdot \dot{x}_{i+1} + \omega^2 \cdot x_{i+1}) \quad (3.6)$$

によって求められる。したがって， $t=0$ における応答の初期値

$$x_1 = 0 \quad (3.7)$$

$$\dot{x}_1 = -\ddot{y}_1 \Delta t \quad (3.8)$$

$$(\ddot{x} + \ddot{y})_1 = 2h \cdot \omega \cdot \ddot{y}_1 \Delta t \quad (3.9)$$

を与えれば，(3.5) 式と (3.6) 式によって，応答値が算出される。

3.4 解析フローチャート

本解析コードを用いた解析フローチャートを第 3.4-1 図に示す。

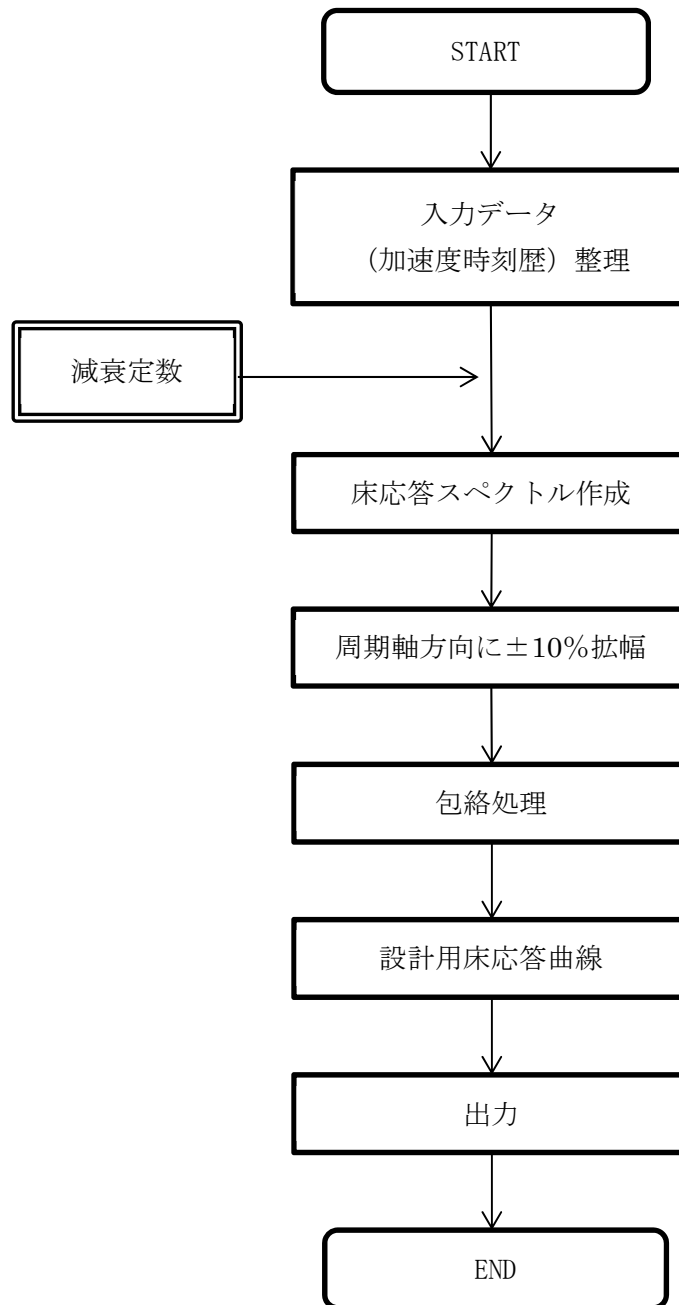


図 3-1 解析フローチャート

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

3.5.1 検証 (Verification)

(1) 検証の概要

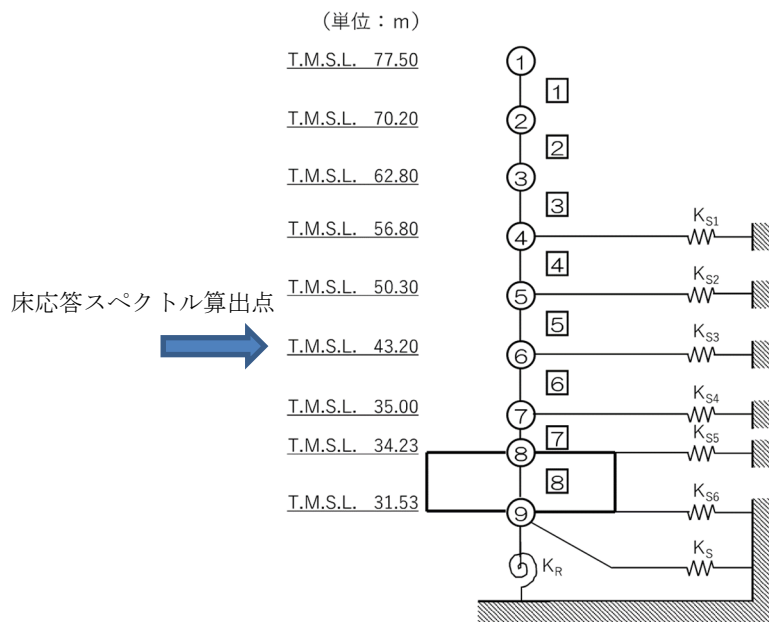
別解析コード「SAS」にて作成した設計用床応答曲線（検証用データ）と本解析コードで作成した設計用床応答曲線の加速度を比較することで、本プログラムの検証を行った。

表 3-1 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

(2) 検証条件

燃料加工建屋の地震応答解析（解析コード検証時の地震応答解析モデルであり、「Ⅲ-2-1-1-1-1-1 燃料加工建屋の地震応答計算書」に記載された地震応答解析モデルとは異なる。）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、NS, EW 方向の床レベル 43.20m の質点番号⑥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のうち、1.0%とした。図 3-2 に燃料加工建屋の地震応答解析モデルを示す。



注記 1：○数字は質点番号を示す。
注記 2：□数字は要素番号を示す。

図 3-2 燃料加工建屋地震応答解析モデル（水平方向）

(3) 解析結果の比較

各検証条件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 3-3～図 3-5 に示す。

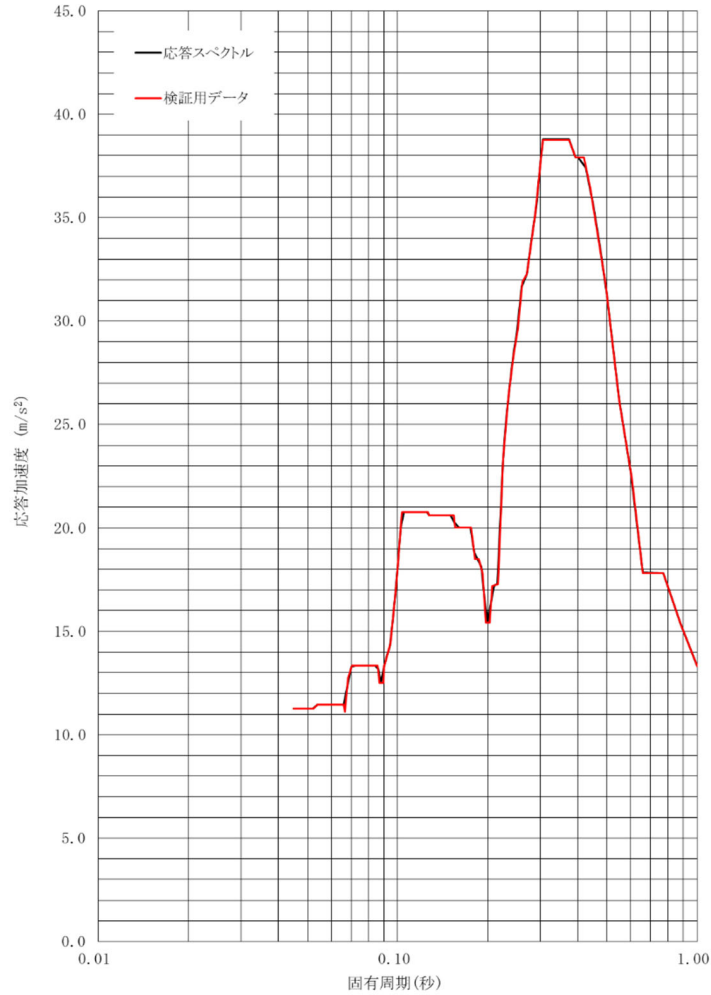


図 3-3 検証用データと本解析コードの比較結果
(NS 方向 床レベル 43.20m 減衰 1.0%)

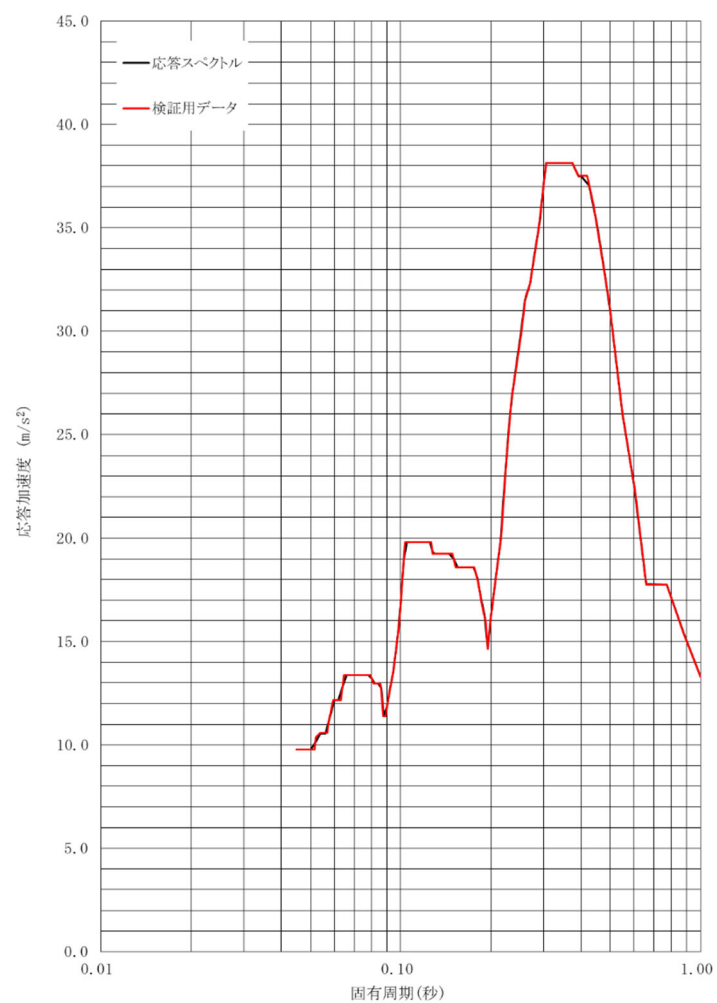


図 3-4 検証用データと本解析コードの比較結果
(EW 方向 床レベル 43.20m 減衰 1.0%)

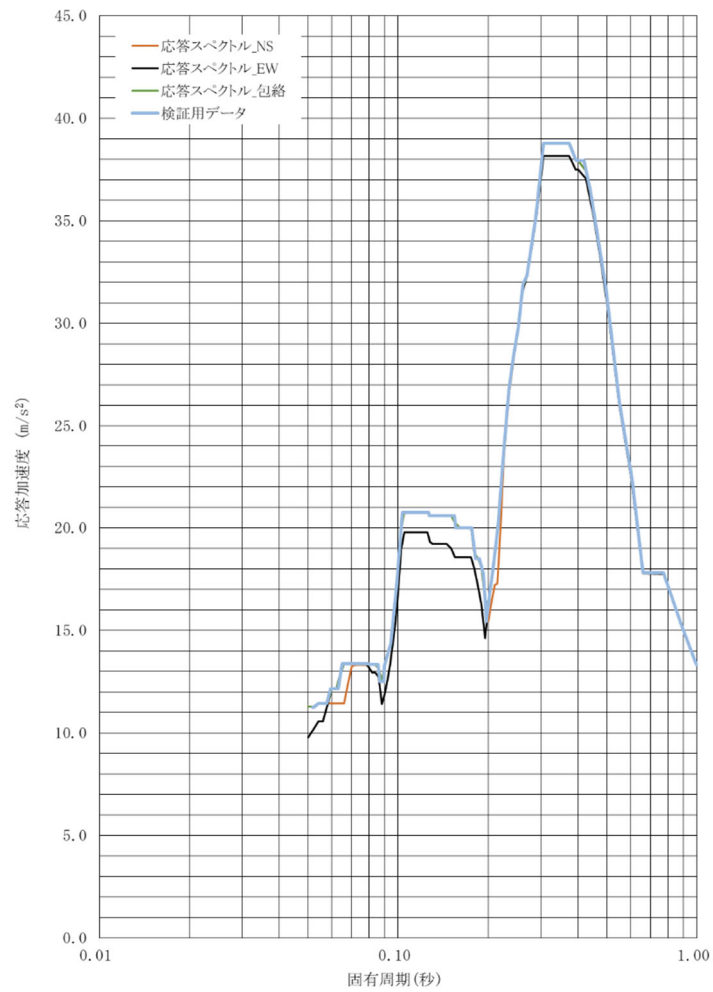


図 3-5 検証用データと本解析コードの比較結果
(水平方向包絡 床レベル 43.20m 減衰 1.0%)

(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)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。

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り，同一の入力条件に対する1自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し，別解析コード「SAS」と本解析コードの結果を比較することで妥当性を確認している。
- 設計用床応答曲線を作成する際，入力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「SAS」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%振幅，加速度時刻歴データ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。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より，本解析コードを，使用目的に示す設計用床応答曲線の作成に用いることは妥当である。

4. 参考文献

- (1) 大崎順彦，新・地震動のスペクトル解析入門