

本資料のうち、枠囲みの内容は  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

TK-1-1146 改2

平成30年9月20日  
日本原子力発電株式会社

# 計算機プログラムの概要

(耐震・耐津波関係)

1. 耐震及び耐津波関連計算書で使用する計算機プログラム（解析コード）について

工認添付書類で使用する計算機プログラム（以下、解析コード）のうち、耐震及び耐津波計算書で用いた解析コードを表 1-1 に示す。また、補足説明資料で使した解析コードを表 1-2 に示す。

表 1-1 計算機プログラム（解析コード）一覧表（耐震及び耐津波関連 工認添付書類）

計算機プログラム（解析コード）
・ MSC NASTRAN
・ FLIP
・ microSHAKE/3D
・ k-SHAKE
・ Engineer's Studio
・ FRAME（面内）
・ FREMING
・ RC 断面計算
・ RESP-T
・ TDAP III
・ UC-win/Section
・ APOLLO SuperDesigner Section
・ APOLLO SuperDesigner Splice
・ APOLLO SuperDesigner Ribcheck

表 1-2 計算機プログラム（解析コード）一覧表（耐震及び耐津波関連 補足説明資料）

計算機プログラム（解析コード）
・ MSC NASTRAN
・ FLIP
・ microSHAKE/3D
・ k-SHAKE
・ FRAME（面内）
・ FREMING
・ RC 断面計算
・ TDAP III
・ OpenFOAM
・ COM3
・ ABAQUS

## 2. 解析コードに関する添付書類と補足説明資料の構成について

### 2.1 概要

工認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 2-1 のフローに従い区分 A～E に分類する。また、解析コード分類及び各区分において作成する資料について表 2-1 に示す。

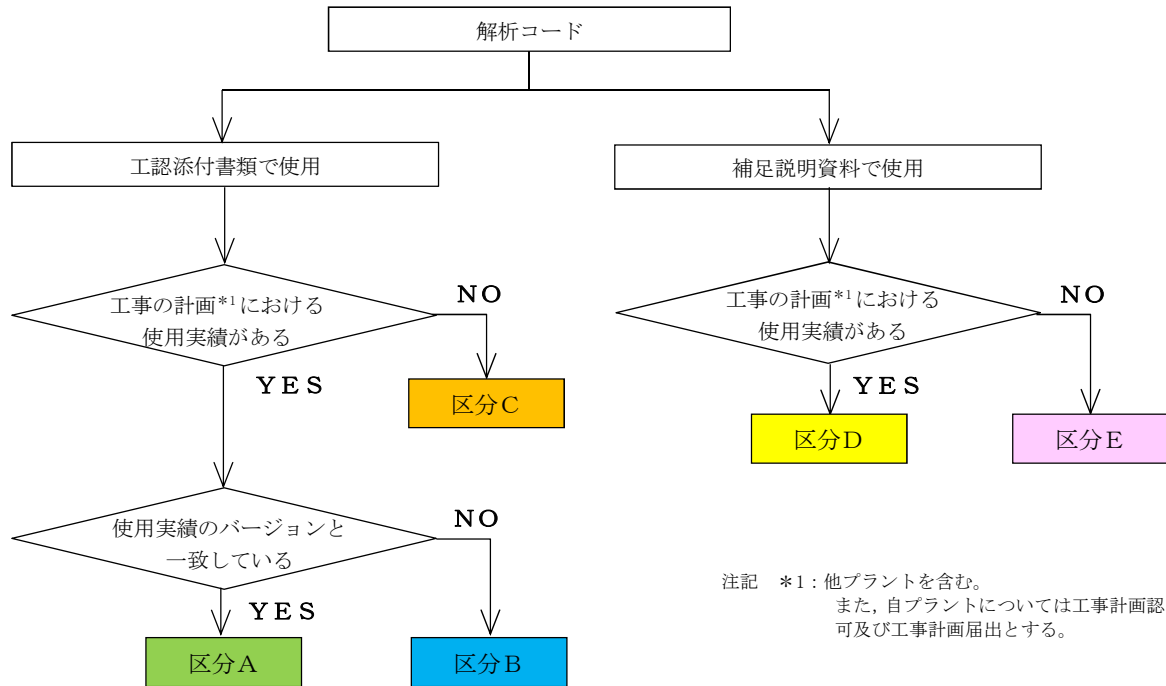


図 2-1 解析コードの区分フロー

表 2-1 解析コードの分類と各区分における資料

#### 【工認添付書類で使用する解析コード】

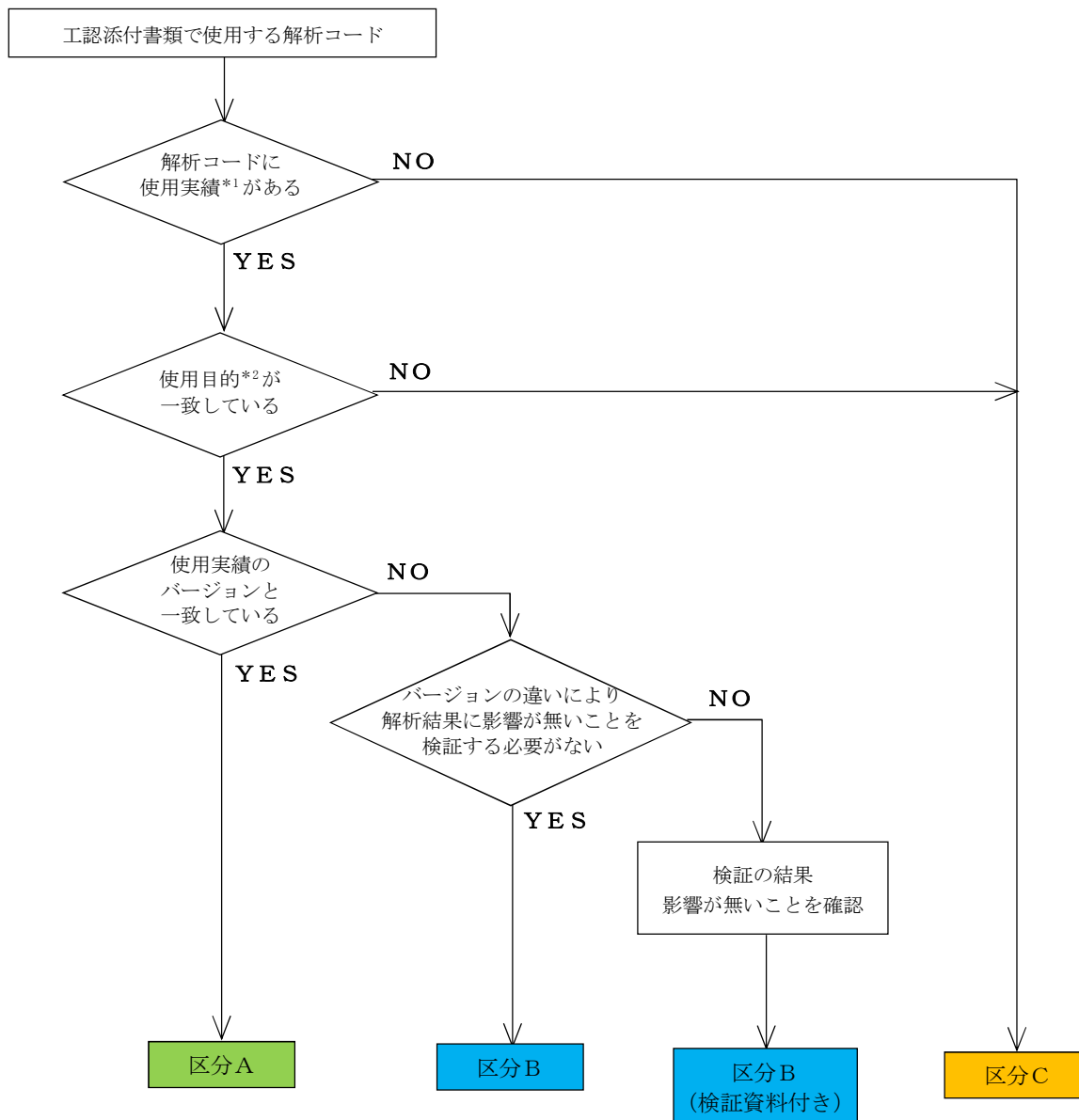
区分		A	B	C
作成資料	添付書類	解析コードの概要	解析コードの概要	解析コードの概要 検証及び妥当性確認の詳細
	補足説明資料	解析コードリスト (資料 No. 1～3)	解析コードリスト (資料 No. 1～3) バージョンの差分 (資料 No. 4)	解析コードリスト (資料 No. 1～3) 使用実績の無い解析コードリスト (資料. 5)
解析コードの分類		該当無し	「MSC NASTRAN」 「microSHAKE/3D」 「k-SHAKE」 「FRAME (面内)」 「RC 断面計算」 「TDAP III」	「FLIP」 「Engineer's Studio」 「PREMING」 「RESP-T」 「TDAP III」 「UC-win/Section」 「APOLLO SuperDesigner Section」 「APOLLO SuperDesigner Splice」 「APOLLO SuperDesigner Ribcheck」

#### 【補足説明資料で使用する解析コード】

区分		D	E
作成資料	添付書類	—	—
	補足説明資料	補足説明資料において使用している解析コードリスト (資料. 6)	補足説明資料において使用している解析コードリスト (資料. 6) 解析コードの概要、検証及び妥当性確認の詳細
解析コードの分類		「MSC NASTRAN」 「FLIP」 「microSHAKE/3D」 「k-SHAKE」 「FRAME (面内)」 「RC 断面計算」 「TDAP III」 「ABAQUS」	「OpenFOAM」 「COM3」 「MSC MARC」

(参考)

工認添付書類で使用する解析コードは、過去の使用実績やバージョンの違いにより以下のフローに従い区分A～Cに分類する。



注記

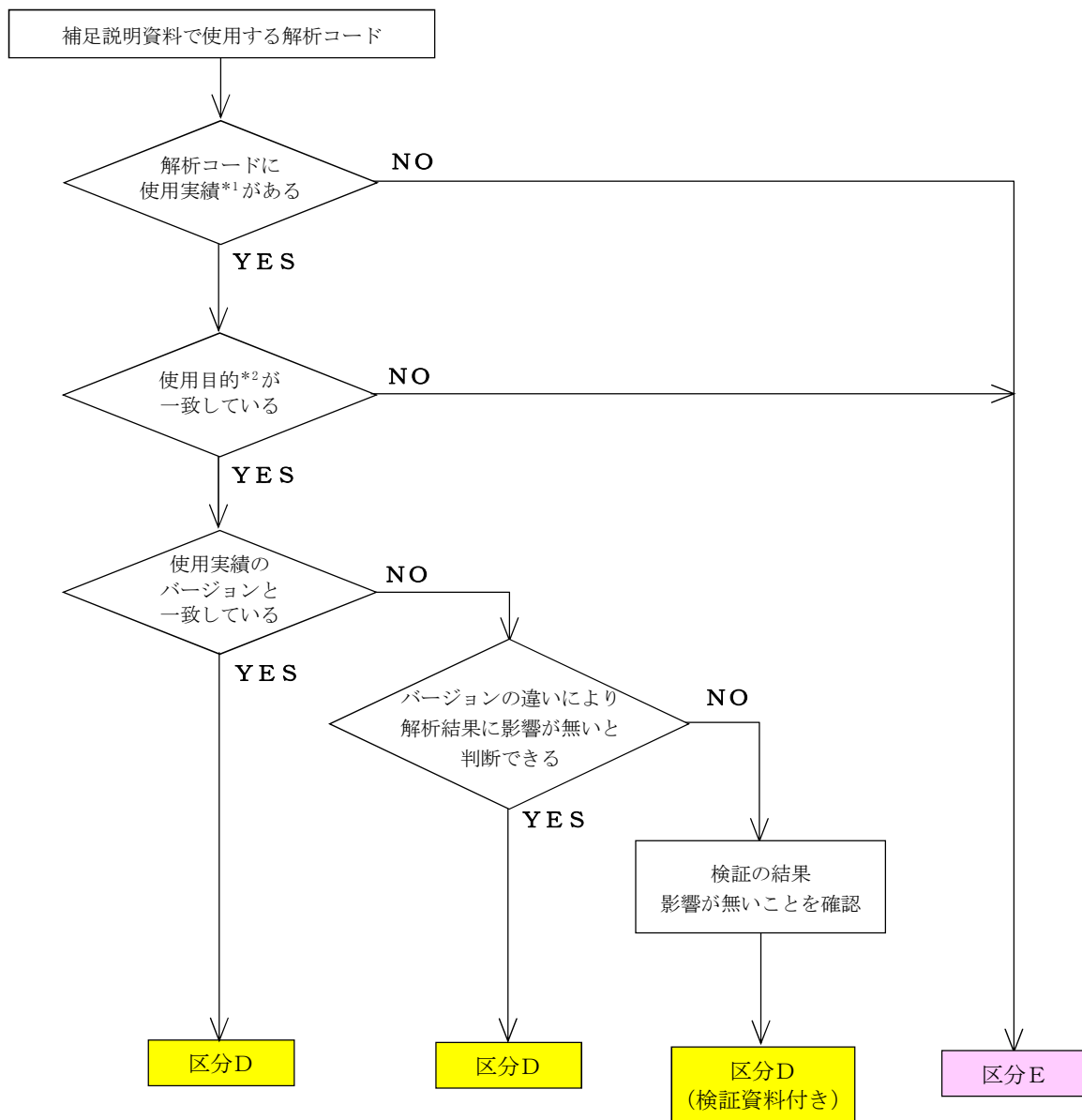
\*1: 他プラント及び自プラント（工事計画認可及び工事計画届出）における使用実績。新規基準以前のものは使用実績としない。

\*2: 評価対象，評価手法，使用機能を含む。

解析コードの区分フロー（工認添付書類で使用する解析コード）

(参考)

補足説明資料で使用する解析コードは、過去の使用実績やバージョンの違いにより以下のフローに従い区分D及びEに分類する。



注記

\*1: 他プラント及び自プラント（工事計画認可及び工事計画届出）における使用実績。新規基準以前のものは使用実績としない。

\*2: 評価対象，評価手法，使用機能を含む。

解析コードの区分フロー（補足説明資料で使用する解析コード）

## 2.2 解析コードに関する資料

### 2.2.1 工認添付書類

解析コードに関する工認添付資料として、区分A～Cに分類されたコードに対して「解析コードの概要」を、区分Cに分類されたコードに対して「解析コードの概要」に加え「検証及び妥当性確認の詳細」の資料を作成する。これらの資料は解析コードごとに作成する。なお、同じ解析コードを使用する場合でも、バージョンや使用目的が異なればそれぞれ作成する。解析コードに関する目録番号と目録名称の一覧を表 2-2 に示す。また、参考として耐震及び耐津波関連の添付書類と使用解析コードの対応表を表 2-3 に示す。

表 2-2 解析コードに関する目録番号と目録名称の一覧

資料番号	目録番号	目録名称
TK-1-1154	V-5-1	計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN
工認-668	V-5-10	計算機プログラム（解析コード）の概要・FLIP
工認-669	V-5-20	計算機プログラム（解析コード）の概要・microSHAKE/3D
工認-670	V-5-25	計算機プログラム（解析コード）の概要・k-SHAKE
工認-231	V-5-39	計算機プログラム（解析コード）の概要・Engineer's Studio
工認-672	V-5-40	計算機プログラム（解析コード）の概要・FRAME（面内）
工認-673	V-5-41	計算機プログラム（解析コード）の概要・FREMING
工認-675	V-5-43	計算機プログラム（解析コード）の概要・RC 断面計算
工認-676	V-5-44	計算機プログラム（解析コード）の概要・RESP-T
工認-677	V-5-45	計算機プログラム（解析コード）の概要・TDAP III
工認-678	V-5-46	計算機プログラム（解析コード）の概要・UC-win/Section
工認-679	V-5-50	計算機プログラム（解析コード）の概要・APOLLO SuperDesigner Section
工認-680	V-5-51	計算機プログラム（解析コード）の概要・APOLLO SuperDesigner Splice
工認-681	V-5-52	計算機プログラム（解析コード）の概要・APOLLO SuperDesigner Ribcheck

表 2-3 添付書類と使用解析コード対応表（耐震及び耐津波関連）（1/4）

添付書類番号	添付書類名称	使用解析コード					
		目録番号	V-5-10	V-5-25			
V-2-2-6	取水構造物の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-7	取水構造物の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-8	屋外二重管の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-9	屋外二重管の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-1	V-5-10	V-5-25		
		コード名	MSC NASTRAN	FLIP	k-SHAKE		
V-2-2-12	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-13	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43		
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC断面計算		
V-2-2-20	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-21	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43		
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC断面計算		
V-2-2-22-1	常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-20			
		コード名	FLIP	microSHAKE/3D			
V-2-2-22-2	常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-20			
		コード名	FLIP	microSHAKE/3D			
V-2-2-22-3	常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-20			
		コード名	FLIP	microSHAKE/3D			
V-2-2-22-4	常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-20			
		コード名	FLIP	microSHAKE/3D			
V-2-2-23-1	常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-20			
		コード名	FLIP	microSHAKE/3D			
V-2-2-23-2	常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-20			
		コード名	FLIP	microSHAKE/3D			
V-2-2-23-3	常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-20			
		コード名	FLIP	microSHAKE/3D			
V-2-2-23-4	常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-20	V-5-45		
		コード名	FLIP	microSHAKE/3D	TDAP III		

表 2-3 添付書類と使用解析コード対応表（耐震及び耐津波関連）（2/4）

添付書類番号	添付書類名称	使用解析コード					
		目録番号	V-5-10	V-5-25			
V-2-2-24	可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-25	可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43		
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC断面計算		
V-2-2-26	常設低圧代替注水系ポンプ室の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-27	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43	V-5-40	V-5-45
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC断面計算	FRAME(面内)	TDAP III
V-2-2-28	代替淡水貯槽の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-29	代替淡水貯槽の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-40	V-5-43	V-5-45
		コード名	FLIP	k-SHAKE	FRAME(面内)	RC断面計算	TDAP III
V-2-2-30	常設低圧代替注水系配管カルバートの地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-31	常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43		
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC断面計算		
V-2-2-32	S A用海水ピットの地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-33	S A用海水ピットの耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-39	V-5-43	V-5-46
		コード名	FLIP	k-SHAKE	Engineer's Studio	RC断面計算	UC-win/Section
V-2-2-34	緊急用海水ポンプピットの地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-35	緊急用海水ポンプピットの耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43	V-5-1	V-5-41
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC断面計算	MSC NASTRAN	FREMING
V-2-2-36	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-37	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43	V-5-44	
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC断面計算	RESP-T	
V-2-2-38-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-2-38-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の地震応答計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			



表 2-3 添付書類と使用解析コード対応表（耐震及び耐津波関連）（3/4）

添付書類番号	添付書類名称	使用解析コード					
		目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43	V-5-46	
V-2-2-39-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43	V-5-46	
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC 断面計算	UC-win/Section	
V-2-2-39-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-41	V-5-43	
		コード名	FLIP	k-SHAKE	FREMING	RC 断面計算	
V-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43	V-5-45	
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC 断面計算	TDAP III	
		目録番号	V-5-46	V-5-50	V-5-51	V-5-52	
		コード名	UC-win/Section	APOLLO SuperDesigner Section	APOLLO SuperDesigner Splice	APOLLO SuperDesigner Ribcheck	
V-2-10-2-2-2	防潮扉の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-10-2-4	構内排水路逆流防止設備の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-10-4-2	SA用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-39	V-5-43	V-5-46
		コード名	FLIP	k-SHAKE	Engineer's Studio	RC 断面計算	UC-win/Section
V-2-10-4-3	海水引込み管の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-39		
		コード名	FLIP	k-SHAKE	Engineer's Studio		
V-2-10-4-4-1	貯留堰の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-10-4-4-2	貯留堰取付護岸の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			
V-2-10-4-5	緊急用海水取水管の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-39		
		コード名	FLIP	k-SHAKE	Engineer's Studio		
V-2-11-2-16	土留鋼管矢板の耐震性についての計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25			
		コード名	FLIP	k-SHAKE			

表 2-3 添付書類と使用解析コード対応表（耐震及び耐津波関連）（4/4）

添付書類番号	添付書類名称	使用解析コード					
		目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-39	V-5-43	V-5-50
V-3-別添 3-2-1-1	防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-39	V-5-43	V-5-50
		コード名	FLIP	k-SHAKE	Engineer's Studio	RC 断面計算	APOLLO SuperDesigner Section
		目録番号	V-5-51	V-5-52			
		コード名	APOLLO SuperDesigner Splice	APOLLO SuperDesigner Ribcheck			
V-3-別添 3-2-1-2-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の強度計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-39	V-5-43	
		コード名	FLIP	k-SHAKE	Engineer's Studio	RC 断面計算	
V-3-別添 3-2-1-2-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の強度計算書	目録番号	V-5-1	V-5-10	V-5-25	V-5-41	V-5-43
		コード名	MSC NASTRAN	FLIP	k-SHAKE	FREMING	RC 断面計算
V-3-別添 3-2-1-3	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の強度計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43	V-5-44	
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC 断面計算	RESP-T	
V-3-別添 3-2-1-4	防潮扉の強度計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43	V-5-44	
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC 断面計算	RESP-T	
V-3-別添 3-2-3	構内排水路逆流防止設備の強度計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-43	V-5-44	
		コード名	FLIP	k-SHAKE	RC 断面計算	RESP-T	
V-3-別添 3-2-9	貯留堰の強度計算書	目録番号	V-5-10	V-5-25	V-5-41		
		コード名	FLIP	k-SHAKE	FREMING		

## 2.2.2 補足説明資料

解析コードに関する補足説明資料として、工認添付書類で使用する区分A～Cに分類されたコードに対して「解析コードリスト（資料 No1～3）」を作成する。資料 No. 1 は耐震強度以外の計算書で使用、資料 No. 2 は耐震計算書で使用、資料 No. 3 は強度計算書で使した解析コードのリストとしている。

区分Bに分類されたコードについては、解析コードの使用実績はあるが、使用バージョンに実績が無いコードであるため、実績があるバージョンと今回使用バージョンとの差分をまとめた「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（資料 No. 4）」の資料を作成する。

また、区分Cに分類されたコードは使用実績が無いコードであるため、「使用実績の無い解析コードリスト（資料 No. 5）」にまとめる。

補足説明資料で使用する区分D～Eに分類されたコードは、「補足説明資料において使用している解析コードリスト（資料. 6）」にまとめる。使用実績の無い区分Eに分類されたコードについては、「解析コードの概要」及び「検証及び妥当性確認の詳細」資料を作成する。

以下に、耐震及び耐津波計算書で使用している解析コードに関する「解析コードリスト（資料 No1～3）」、「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（資料 No. 4）」、「使用実績の無い解析コードリスト（資料 No. 5）」、「補足説明資料において使用している解析コードリスト（資料. 6）」を示す。

資料 2 解析コードリスト (耐震) (1/11)

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 (先行プランを含む)							関連添付書類		備考		
							実績	プラント名	対象工認件名	添付書類	バージョン	対象設備	使用目的	原字/原簿 一般図等	目録番号		分類	目録名称
2-1	MSC MSTRAN	MSC Software Corporation	Ver. 2018.0.1	Ver. 2018.0.1	防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁 (放水路エリア))	2次元有限要素法 (はり, シェル, ソリッドモデル) による静的応力解析	○	玄海 4 号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料 3	Ver. 2008.1	原子炉周辺建屋他	3次元有限要素法 (はり, シェル, ソリッドモデル) による静的応力解析	○	V-2-2-35	土木構造物	緊急用海水ポンプの耐震性についての計算書	
2-2	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0.2	Ver. 7.4.0 (注 1)	取水構造物	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜 4 号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	資料 13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-6	土木構造物	取水構造物の地震応答計算書	
2-3	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0.2	Ver. 7.4.0 (注 1)	取水構造物	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜 4 号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	資料 13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-7	土木構造物	取水構造物の耐震性について計算書	
2-4	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0.2	Ver. 7.4.0 (注 1)	屋外二重管	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜 4 号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	資料 13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-8	土木構造物	屋外二重管の地震応答計算書	
2-5	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0.2	Ver. 7.4.0 (注 1)	屋外二重管	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜 4 号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	資料 13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-9	土木構造物	屋外二重管の耐震性についての計算書	
2-6	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0.2	Ver. 7.4.0 (注 1)	屋外二重管	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜 4 号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	資料 13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-12	土木構造物	緊急時対策用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	
2-7	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0.2	Ver. 7.4.0 (注 1)	屋外二重管	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜 4 号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	資料 13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-13	土木構造物	緊急時対策用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書	
2-8	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0.2	Ver. 7.4.0 (注 1)	屋外二重管	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜 4 号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	資料 13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-20	土木構造物	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの地震応答計算書	
2-9	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0.2	Ver. 7.4.0 (注 1)	屋外二重管	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜 4 号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	資料 13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-21	土木構造物	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震性についての計算書	
2-10	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0.2	Ver. 7.4.0 (注 1)	常設代替高圧電源装置置置場及び西側淡水設備	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜 4 号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	資料 13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-22-1	土木構造物	常設代替高圧電源装置置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書	
2-11	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0.2	Ver. 7.4.0 (注 1)	常設代替高圧電源装置置置場用カルバート (カルバート部)	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜 4 号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	資料 13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-22-2	土木構造物	常設代替高圧電源装置置置場用カルバート (カルバート部) の地震応答計算書	

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。

資料2 解析コードリスト (耐震) (2/11)

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	添付書類	バージョン	対象設備	使用目的	原付/継ぎ足 一般設備部	目録番号		分類	目録名称
2-12	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	常設代替高压電源装置用カルバート(トンネル部)	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-22-3	土木構造物	常設代替高压電源装置用カルバートの地震応答計算書	
2-13	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	常設代替高压電源装置用カルバート(立坑部)	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-22-4	土木構造物	常設代替高压電源装置用カルバートの地震応答計算書	
2-14	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	常設代替高压電源装置置置場	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-22-1	土木構造物	常設代替高压電源装置置置場及び西側防水排水設備の耐震性についての計算書	
2-15	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	常設代替高压電源装置置置場	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-22-2	土木構造物	常設代替高压電源装置用カルバートの耐震性についての計算書	
2-16	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	常設代替高压電源装置置置場	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-22-3	土木構造物	常設代替高压電源装置用カルバートの耐震性についての計算書	
2-17	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	常設代替高压電源装置置置場	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-22-4	土木構造物	常設代替高压電源装置用カルバートの耐震性についての計算書	
2-18	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	可搬型設備用軽油タンク基礎	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-24	土木構造物	可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答計算書	
2-19	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	可搬型設備用軽油タンク基礎	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-25	土木構造物	可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	
2-20	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	常設低圧代替注水系ポンプ室	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-26	土木構造物	常設低圧代替注水系ポンプ室の地震応答計算書	
2-21	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	常設低圧代替注水系ポンプ室	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-27	土木構造物	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書	
2-22	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	代替淡水貯槽	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-28	土木構造物	代替淡水貯槽の地震応答計算書	
2-23	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	代替淡水貯槽	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-29	土木構造物	代替淡水貯槽の耐震性についての計算書	

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。

資料2 解析コードリスト (耐震) (3/11)

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	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	原子的/標準一般設備	関連添付書類			備考
															目録番号	分類	目録名称	
2-24	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	常設低圧代替注水系配管カナルバートの地震応答計算書	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-30	土木構造物	常設低圧代替注水系配管カナルバートの地震応答計算書	
2-24	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	常設低圧代替注水系配管カナルバートの地震応答計算書	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-31	土木構造物	常設低圧代替注水系配管カナルバートの耐震性についての計算書	
2-26	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	SA用海水ピット	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-32	土木構造物	SA用海水ピットの地震応答計算書	
2-27	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	SA用海水ピット	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-33	土木構造物	SA用海水ピットの耐震性についての計算書	
2-28	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	緊急用海水ポンプピット	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-34	土木構造物	緊急用海水ポンプピットの地震応答計算書	
2-29	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	緊急用海水ポンプピット	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-35	土木構造物	緊急用海水ポンプピットの耐震性についての計算書	
2-30	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-36	土木構造物	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)の地震応答計算書	
2-31	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-37	土木構造物	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)の耐震性についての計算書	
2-32	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-38-1	土木構造物	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)の地震応答計算書	
2-33	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-38-2	土木構造物	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))の地震応答計算書	
2-34	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-39-1	土木構造物	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)の耐震性についての計算書	
2-35	FLIP	FLIP コンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0 (注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))	2次元有限要素法による地震応答解析 (有効応力法)	○	高浜4号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認申請	資料13	Ver. 7.2.3.4	放水口御波堤, 防潮層, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-2-39-2	土木構造物	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))の耐震性についての計算書	

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。

資料2 解析コードリスト (耐震) (4/11)

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	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	使用実績 (先行プラント含む)				関連添付書類			備考	
														実績	バージョン	添付書類	バージョン	対象設備	使用目的	原付/継承 一般設備		目録番号
2-36	FLIP	FLIP コ ンソーシア ム	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0 (注 1)	防潮堤 (鋼製防 護壁)	2次元有限要素法 による地震応答解 析 (有効応力法)	○	高浜 4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口御波堤, 防潮堤, 屋外排水 路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-10- 2-2-1	土木 構造物	防潮堤 (鋼製防護 壁) の耐震性につ いての計算書					
2-37	FLIP	FLIP コ ンソーシア ム	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0 (注 1)	防潮堤	2次元有限要素法 による地震応答解 析 (有効応力法)	○	高浜 4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口御波堤, 防潮堤, 屋外排水 路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-10- 2-2-3	土木 構造物	防潮堤の耐震性に ついての計算書					
2-38	FLIP	FLIP コ ンソーシア ム	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0 (注 1)	構内排水路逆 流防止設備	2次元有限要素法 による地震応答解 析 (有効応力法)	○	高浜 4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口御波堤, 防潮堤, 屋外排水 路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-10- 2-4	土木 構造物	構内排水路逆流防 止設備の耐震性に ついての計算書					
2-39	FLIP	FLIP コ ンソーシア ム	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0 (注 1)	SA 用海水ピ ット取水塔	2次元有限要素法 による地震応答解 析 (有効応力法)	○	高浜 4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口御波堤, 防潮堤, 屋外排水 路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-10- 4-2	土木 構造物	SA 用海水ピット 取水塔の耐震性に ついての計算書					
2-40	FLIP	FLIP コ ンソーシア ム	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0 (注 1)	海水引込み管	2次元有限要素法 による地震応答解 析 (有効応力法)	○	高浜 4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口御波堤, 防潮堤, 屋外排水 路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-10- 4-3	土木 構造物	海水引込み管の耐 震性についての計 算書					
2-41	FLIP	FLIP コ ンソーシア ム	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0 (注 1)	貯留罐	2次元有限要素法 による地震応答解 析 (有効応力法)	○	高浜 4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口御波堤, 防潮堤, 屋外排水 路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-10- 4-4-1	土木 構造物	貯留罐の耐震性に ついての計算書					
2-42	FLIP	FLIP コ ンソーシア ム	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0 (注 1)	貯留堰取付護 岸	2次元有限要素法 による地震応答解 析 (有効応力法)	○	高浜 4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口御波堤, 防潮堤, 屋外排水 路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-10- 4-4-2	土木 構造物	貯留堰取付護岸の 耐震性についての 計算書					
2-43	FLIP	FLIP コ ンソーシア ム	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0 (注 1)	緊急用海水取 水管	2次元有限要素法 による地震応答解 析 (有効応力法)	○	高浜 4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口御波堤, 防潮堤, 屋外排水 路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-10- 4-5	土木 構造物	緊急用海水取水管 の耐震性について の計算書					
2-44	FLIP	FLIP コ ンソーシア ム	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0 (注 1)	土留鋼管矢板	2次元有限要素法 による地震応答解 析 (有効応力法)	○	高浜 4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口御波堤, 防潮堤, 屋外排水 路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-2-11- 2-15	土木 構造物	土留鋼管矢板の耐 震性についての計 算書					
2-45	microSHA KE/3D	株式会社地 震工学研究 所	Ver. 2. 2.3.31 1	Ver. 7. 3.0 (注 1)	常設代替高圧 電源装置置場 及び西側淡水 貯水設備	1次元地震応答解 析 (入力地震動算 定)	○	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	添付資料 13	Ver. 2. 0.1.17 9	屋外保管設備	地震応答解析 (入 力地震動算定)	○	V-2-2- 22-1	土木 構造物	常設代替高圧電源 装置置場及び西側 淡水貯水設備の地 震応答計算書					
2-46	microSHA KE/3D	株式会社地 震工学研究 所	Ver. 2. 2.3.31 1	Ver. 7. 3.0 (注 1)	常設代替高圧 電源装置置場 カルバート (カル バート部)	1次元地震応答解 析 (入力地震動算 定)	○	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	添付資料 13	Ver. 2. 0.1.17 9	屋外保管設備	地震応答解析 (入 力地震動算定)	○	V-2-2- 22-2	土木 構造物	常設代替高圧電源 装置置場カルバート (カルバート部) の 地震応答計算書					

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。

資料 2 解析コードリスト (耐震) (5/11)

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	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	原子的/産業用一般設備	関連添付書類			備考
															目録番号	分類	目録名称	
2-47	microSHA KE/3D	株式会社地産工学研究所	Ver. 2. 2. 3. 31	Ver. 2. 3. 0 (注 1)	常設代替高圧電源装置用カルバート(トンネル部)	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 2. 0. 1. 17 9	屋外保管設備	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-22-3	土木構造物	常設代替高圧電源装置用カルバートの地震心答計算書	
2-48	microSHA KE/3D	株式会社地産工学研究所	Ver. 2. 2. 3. 31	Ver. 2. 3. 0 (注 1)	常設代替高圧電源装置用カルバート(立坑部)	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 2. 0. 1. 17 9	屋外保管設備	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-22-4	土木構造物	常設代替高圧電源装置用カルバートの地震心答計算書	
2-49	microSHA KE/3D	株式会社地産工学研究所	Ver. 2. 2. 3. 31	Ver. 2. 3. 0 (注 1)	常設代替高圧電源装置置置場及び西側淡水貯水設備	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 2. 0. 1. 17 9	屋外保管設備	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-23-1	土木耐震	常設代替高圧電源装置置置場及び西側淡水貯水設備の耐震性についての計算書	
2-50	microSHA KE/3D	株式会社地産工学研究所	Ver. 2. 2. 3. 31	Ver. 2. 3. 0 (注 1)	常設代替高圧電源装置置置場用カルバート(トンネル部)	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 2. 0. 1. 17 9	屋外保管設備	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-23-2	土木構造物	常設代替高圧電源装置置置場用カルバートの耐震性についての計算書	
2-51	microSHA KE/3D	株式会社地産工学研究所	Ver. 2. 2. 3. 31	Ver. 2. 3. 0 (注 1)	常設代替高圧電源装置置置場用カルバート(トンネル部)	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 2. 0. 1. 17 9	屋外保管設備	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-23-3	土木構造物	常設代替高圧電源装置置置場用カルバートの耐震性についての計算書	
2-52	microSHA KE/3D	株式会社地産工学研究所	Ver. 2. 2. 3. 31	Ver. 2. 3. 0 (注 1)	常設代替高圧電源装置置置場用カルバート(立坑部)	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 2. 0. 1. 17 9	屋外保管設備	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-23-4	土木構造物	常設代替高圧電源装置置置場用カルバートの耐震性についての計算書	
2-53	k-SHAKE	株式会社構造造計画研究所	Ver. 6. 2. 0	Ver. 7. 0. 0 (注 1)	取水構造物	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 5. 0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-6	土木構造物	取水構造物の地震心答計算書	
2-54	k-SHAKE	株式会社構造造計画研究所	Ver. 6. 2. 0	Ver. 7. 0. 0 (注 1)	取水構造物	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 5. 0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-7	土木構造物	取水構造物の耐震性についての計算書	
2-55	k-SHAKE	株式会社構造造計画研究所	Ver. 6. 2. 0	Ver. 7. 0. 0 (注 1)	屋外二重管	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 5. 0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-8	土木構造物	屋外二重管の地震心答計算書	
2-56	k-SHAKE	株式会社構造造計画研究所	Ver. 6. 2. 0	Ver. 7. 0. 0 (注 1)	屋外二重管	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 5. 0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-9	土木構造物	屋外二重管の耐震性についての計算書	
2-57	k-SHAKE	株式会社構造造計画研究所	Ver. 6. 2. 0	Ver. 7. 0. 0 (注 1)	屋外二重管	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 5. 0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-12	土木構造物	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震心答計算書	
2-58	k-SHAKE	株式会社構造造計画研究所	Ver. 6. 2. 0	Ver. 7. 0. 0 (注 1)	屋外二重管	1次元地震心答解析(入力地震動算定)	○	大阪3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 13	Ver. 5. 0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震心答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-13	土木構造物	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書	

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。



資料2 解析コードリスト (耐震) (6/11)

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	実績	プラント名	対象工認件名	添付書類	ハンドブック	対象設備	使用目的	原子的/標準一般設備	関連添付書類			備考
															目録番号	分類	目録名称	
2-59	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	屋外二重管	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-20	土木構造物	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの地震応答計算書	
2-60	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	屋外二重管	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-21	土木構造物	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震性についての計算書	
2-61	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	可搬型設備用軽油タンク基礎	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-24	土木構造物	可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答計算書	
2-62	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	可搬型設備用軽油タンク基礎	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-25	土木構造物	可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	
2-63	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	常設低圧代替注水系ポンプ室	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-26	土木構造物	常設低圧代替注水系ポンプ室の地震応答計算書	
2-64	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	常設低圧代替注水系ポンプ室	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-27	土木構造物	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書	
2-65	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	代替淡水貯槽	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-28	土木構造物	代替淡水貯槽の地震応答計算書	
2-66	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	代替淡水貯槽	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-29	土木構造物	代替淡水貯槽の耐震性についての計算書	
2-67	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	常設低圧代替注水系配管カルバート	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-30	土木構造物	常設低圧代替注水系配管カルバートの地震応答計算書	
2-68	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	常設低圧代替注水系配管カルバート	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-31	土木構造物	常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震性についての計算書	
2-69	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	SA用海水ピット	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-32	土木構造物	SA用海水ピットの地震応答計算書	
2-70	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	SA用海水ピット	1次元地震応答解析 (入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析 (入力地震動算定)	○	V-2-2-33	土木構造物	SA用海水ピットの耐震性についての計算書	

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。

資料2 解析コードリスト(耐震) (7/11)

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	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	原付/履歴 一般図集	関連添付書類			備考
															目録番号	分類	目録名称	
2-71	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	緊急用海水ポンプピット	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-34	土木構造物	緊急用海水ポンプピットの耐震性に関する計算書	
2-72	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	緊急用海水ポンプピット	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-35	土木構造物	緊急用海水ポンプピットの耐震性に関する計算書	
2-73	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-36	土木構造物	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)の耐震性に関する計算書	
2-74	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-37	土木構造物	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)の耐震性に関する計算書	
2-75	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-38-1	土木構造物	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)の耐震性に関する計算書	
2-76	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-38-2	土木構造物	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))の耐震性に関する計算書	
2-77	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-39-1	土木構造物	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)の耐震性に関する計算書	
2-78	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-39-2	土木構造物	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))の耐震性に関する計算書	
2-79	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	防潮堤(鋼製防護壁)	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-10-2-2-1	土木構造物	防潮堤(鋼製防護壁)の耐震性に関する計算書	
2-80	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	防潮堤	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-2-10-2-2-3	土木構造物	防潮堤の耐震性に関する計算書	
2-81	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	構内排水路逆流防止設備	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-10-2-4	土木構造物	構内排水路逆流防止設備の耐震性に関する計算書	
2-82	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	SA用海水ピット取水塔	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-10-4-2	土木構造物	SA用海水ピット取水塔の耐震性に関する計算書	

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。

資料2 解析コードリスト(耐震) (8/11)

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	実績	プラットフォーム名	対象工認件名	添付書類	バージョン	対象設備	使用目的	使用実績(先行プランを含む)			関連添付書類		備考
														添付資料	ハンズル	対象設備	目録番号	分類	
2-83	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0(注1)	海水引込み管	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大飯3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-10-4-3	土木構造物	海水引込み管の耐震性についての計算書		
2-84	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0(注1)	貯留堰	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大飯3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-10-4-4-1	土木構造物	貯留堰の耐震性についての計算書		
2-85	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0(注1)	貯留堰取付護岸	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大飯3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-10-4-4-2	土木構造物	貯留堰取付護岸の耐震性についての計算書		
2-86	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0(注1)	緊急用海水取水管	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大飯3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-10-4-5	土木構造物	緊急用海水取水管の耐震性についての計算書		
2-87	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0(注1)	緊急用海水取水管	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大飯3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-2-11-2-15	土木構造物	土留鋼管矢板の耐震性についての計算書		
2-88	Engineer's Studio	株式会社フオーラムエイト	Ver. 6.00.04	Ver. 7.01.0(注1)	取水構造物	3次元有限要素法による静的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	V-2-2-7	土木構造物	取水構造物の耐震性についての計算書		
2-89	Engineer's Studio	株式会社フオーラムエイト	Ver. 6.00.04	Ver. 7.01.0(注1)	SA用海水ピット	3次元有限要素法による静的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	V-2-2-33	土木構造物	SA用海水ピットの耐震性についての計算書		
2-90	Engineer's Studio	株式会社フオーラムエイト	Ver. 6.00.04	Ver. 7.01.0(注1)	SA用海水ピット取水塔	3次元有限要素法による静的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	V-2-10-4-2	土木構造物	SA用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書		
2-91	Engineer's Studio	株式会社フオーラムエイト	Ver. 6.00.04	Ver. 7.01.0(注1)	海水引込み管	3次元有限要素法による静的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	V-2-10-4-3	土木構造物	海水引込み管の耐震性についての計算書		
2-92	Engineer's Studio	株式会社フオーラムエイト	Ver. 6.00.04	Ver. 7.01.0(注1)	緊急用海水取水管	3次元有限要素法による静的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	V-2-10-4-5	土木構造物	緊急用海水取水管の耐震性についての計算書		
2-93	FRAME(内)	株式会社フオーラムエイト	Ver. 5.0.4	Ver. 5.0.4	常設低圧代替注水系ポンプ室	2次元骨組構造解析(断面力算出)	○	大飯3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.00	止水壁	平面骨組構造解析(断面力算出)	○	V-2-2-27	土木構造物	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書		
2-94	FRAME(内)	株式会社フオーラムエイト	Ver. 5.0.4	Ver. 5.0.4	代替淡水貯槽	2次元骨組構造解析(断面力算出)	○	大飯3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認可申請	添付資料13	Ver. 5.00	止水壁	平面骨組構造解析(断面力算出)	○	V-2-2-29	土木構造物	代替淡水貯槽の耐震性についての計算書		

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。

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	添付書類	ハンドブック	対象設備	使用目的	原子力発電所一般設備	目録番号		分類
2-95	FREMIING	富士通エンジニアリング株式会社	Ver. 4.1B	Ver. 4.1B	緊急用海水ポンプビット	平面骨組解析 (断面力算出)	×	-	-	-	-	○	V-2-2-35	土木構造物	緊急用海水ポンプビットの耐震性についての計算書		
2-96	FREMIING	富士通エンジニアリング株式会社	Ver. 4.1B	Ver. 4.1B	防潮堤 (鉄筋コンクリート防波壁 (放水格エリア))	平面骨組解析 (断面力算出)	×	-	-	-	-	○	V-2-2-39-2	土木構造物	防潮堤 (鉄筋コンクリート防波壁 (放水格エリア)) の耐震性についての計算書		
2-97	RC 断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	新規則基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト壁坑, 海水屋り管壁坑, 大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-2-13	土木構造物	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書	
2-98	RC 断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	格納容器圧力逃がし装置用配管カルパート	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	新規則基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト壁坑, 海水屋り管壁坑, 大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-2-21	土木構造物	格納容器圧力逃がし装置用配管カルパートの耐震性についての計算書	
2-99	RC 断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	可搬型設備用軽油タンク基礎	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	新規則基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト壁坑, 海水屋り管壁坑, 大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-2-25	土木構造物	可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	
2-100	RC 断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	常設低圧代替注水系ポンプ室	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	新規則基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト壁坑, 海水屋り管壁坑, 大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-2-27	土木構造物	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書	
2-101	RC 断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	代替淡水貯槽	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	新規則基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト壁坑, 海水屋り管壁坑, 大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-2-29	土木構造物	代替淡水貯槽の耐震性についての計算書	
2-102	RC 断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	常設低圧代替注水系配管カルパート	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	新規則基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト壁坑, 海水屋り管壁坑, 大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-2-31	土木構造物	常設低圧代替注水系配管カルパートの耐震性についての計算書	
2-103	RC 断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	SA 用海水ピット	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	新規則基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト壁坑, 海水屋り管壁坑, 大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-2-33	土木構造物	SA 用海水ピットの耐震性についての計算書	
2-104	RC 断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	緊急用海水ポンプビット	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	新規則基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト壁坑, 海水屋り管壁坑, 大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-2-35	土木構造物	緊急用海水ポンプビットの耐震性についての計算書	
2-105	RC 断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	防潮堤 (鋼管杭鉄筋コンクリート防波壁)	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	新規則基準適合性審査に係る工事計画認可申請	資料 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト壁坑, 海水屋り管壁坑, 大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-2-37	土木構造物	防潮堤 (鋼管杭鉄筋コンクリート防波壁) の耐震性についての計算書	

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。

資料 2 解析コードリスト (耐震) (10/11)

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	実績	プラットフォーム	対象工認件名	添付書類	バージョン	対象設備	使用目的	原子的/地震学一般設備	関連添付書類			備考
															目録番号	分類	目録名称	
2-106	RC断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁)	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海 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 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト堅坑、海水戻り管堅坑、大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-2-39-1	土木構造物	防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁)の耐震性についての計算書	
2-107	RC断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁 (放水路エリア))	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海 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 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト堅坑、海水戻り管堅坑、大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-2-39-2	土木構造物	防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁 (放水路エリア))の耐震性についての計算書	
2-108	RC断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	防潮堤 (鋼製防護壁)	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海 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 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト堅坑、海水戻り管堅坑、大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-10-2-2-1	土木構造物	防潮堤 (鋼製防護壁)の耐震性についての計算書	
2-109	RC断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	SA用海水ピット取水塔	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海 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 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト堅坑、海水戻り管堅坑、大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-2-10-4-2	土木構造物	SA用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書	
2-110	RESP-T	株式会社構造計画研究所	Ver. 5.1.3.4	Ver. 5.1.3.4	防潮堤 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	2次元はりモデルによる静的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	V-2-2-37	土木構造物	防潮堤 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)の耐震性についての計算書	
2-111	TDAP III	大成建設株式会社、株式会社アーク情報システム	Ver. 3.08	Ver. 3.09 (注1)	常設代替高圧電源装置用カルバート (立坑部)	静的応力解析	○	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	Ver. 3.05	中央制御室遮へい	固有値解析、静的応力解析	○	V-2-2-23-4	土木構造物	常設代替高圧電源装置用カルバート (立坑部)の耐震性についての計算書	
2-112	TDAP III	大成建設株式会社、株式会社アーク情報システム	Ver. 3.08	Ver. 3.09 (注1)	常設代替高圧電源装置用カルバート (立坑部)	2次元骨組構造解析	○	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. 3.01	取水ピット、取水口、貯留堰、海水管ダクト堅坑部、海水管ダクト、海水ポンプエリア防護壁、防護堤	2次元有限要素法による地震応答解析及び2次元骨組構造解析	○	V-2-2-23-4	土木構造物	常設代替高圧電源装置用カルバート (立坑部)の耐震性についての計算書	
2-113	TDAP III	大成建設株式会社、株式会社アーク情報システム	Ver. 3.08	Ver. 3.09 (注1)	常設低圧代替注水系ポンプ室	静的応力解析	○	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	Ver. 3.05	中央制御室遮へい	固有値解析、静的応力解析	○	V-2-2-27	土木構造物	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書	
2-114	TDAP III	大成建設株式会社、株式会社アーク情報システム	Ver. 3.08	Ver. 3.09 (注1)	代替淡水貯槽	静的応力解析	○	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	Ver. 3.05	中央制御室遮へい	固有値解析、静的応力解析	○	V-2-2-29	土木構造物	代替淡水貯槽の耐震性についての計算書	

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。

資料 2 解析コードリスト (耐震) (11/11)

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	添付書類	バージョン	対象設備	使用目的	原子力発電所 一般設備	目録番号	分類		目録名称	
2-115	TDMP III	大成建設株式会社、株式会社アーク情報システム	Ver. 3.08	Ver. 3.09 (注1)	防潮堤 (鋼製防護壁)	3次元骨組みモデルによる地震応答解析	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-2-10-2-2-1	土木構造物	防潮堤 (鋼製防護壁) の耐震性についての計算書	
2-116	UC-win/Section	株式会社フオーラムエイト	Ver. 6.02.01	Ver. 6.02.02 (注1)	SA用海水ピット	鉄筋コンクリート断面の応力度照査	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-2-2-33	土木構造物	SA用海水ピットの耐震性についての計算書	
2-117	UC-win/Section	株式会社フオーラムエイト	Ver. 6.02.01	Ver. 6.02.02 (注1)	防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁)	鉄筋コンクリート断面の応力度照査	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-2-2-39-1	土木構造物	防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁) の耐震性についての計算書	
2-118	UC-win/Section	株式会社フオーラムエイト	Ver. 6.02.01	Ver. 6.02.02 (注1)	防潮堤 (鋼製防護壁)	鉄筋コンクリート断面の応力度照査	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-2-10-2-2-1	土木構造物	防潮堤 (鋼製防護壁) の耐震性についての計算書	
2-119	UC-win/Section	株式会社フオーラムエイト	Ver. 6.02.01	Ver. 6.02.02 (注1)	SA用海水ピット取水塔	鉄筋コンクリート断面の応力度照査	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-2-10-4-2	土木構造物	SA用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書	
2-120	APOLLO SuperDesigner Section	株式会社河技術情報	Ver. 10.11.0.3	Ver. 10.11.0.3	防潮堤 (鋼製防護壁)	鋼筋材の断面剛性算出	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-2-10-2-2-1	土木構造物	防潮堤 (鋼製防護壁) の耐震性についての計算書	
2-121	APOLLO SuperDesigner Splice	株式会社河技術情報	Ver. 10.11.0.3	Ver. 10.11.0.3	防潮堤 (鋼製防護壁)	鋼筋材連結部のボルト設計・添接板応力度照査	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-2-10-2-2-1	土木構造物	防潮堤 (鋼製防護壁) の耐震性についての計算書	
2-122	APOLLO SuperDesigner Ribcheck	株式会社河技術情報	Ver. 10.11.0.3	Ver. 10.11.0.3	防潮堤 (鋼製防護壁)	鋼筋材におけるリブの応力度照査	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-2-10-2-2-1	土木構造物	防潮堤 (鋼製防護壁) の耐震性についての計算書	

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。

資料3 解析コードリスト (強度) (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	使用目的	実績	プラットフォーム	対象工区件名	添付書類	ハンドブック	対象設備	使用目的	原子的要素 一般要素	関連添付書類		備考
															目録番号	目録名称	
3-1	MSC NASTRAN	MSC Software Corporation	Ver. 20 18.0.1	Ver. 20 18.0.1	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))	2次元有限要素法(はり, シェル, モデル)による静的解析	○	玄海4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. 20 08r1	原子炉周辺建屋他	3次元有限要素法(はり, シェル, ソリッドモデル)による静的応力解析	○	V-3-別添3-2-1-2-2	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))の強度計算書	
3-2	FLIP	FLIPソリューションズ	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0(注1)	防潮堤(鋼製防護壁)	2次元有限要素法による地震応答解析(有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口側防波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-3-別添3-2-1-1	防潮堤(鋼製防護壁)の強度計算書	
3-3	FLIP	FLIPソリューションズ	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0(注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	2次元有限要素法による地震応答解析(有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口側防波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-3-別添3-2-1-2-1	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)の強度計算書	
3-4	FLIP	FLIPソリューションズ	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0(注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	2次元有限要素法による地震応答解析(有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口側防波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-3-別添3-2-1-2-2	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))の強度計算書	
3-5	FLIP	FLIPソリューションズ	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0(注1)	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	2次元有限要素法による地震応答解析(有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口側防波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-3-別添3-2-1-3	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)の強度計算書	
3-6	FLIP	FLIPソリューションズ	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0(注1)	防潮扉	2次元有限要素法による地震応答解析(有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口側防波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-3-別添3-2-1-4	防潮扉の強度計算書	
3-7	FLIP	FLIPソリューションズ	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0(注1)	構内排水路逆流防止設備	2次元有限要素法による地震応答解析(有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口側防波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-3-別添3-2-3	構内排水路逆流防止設備の強度計算書	
3-8	FLIP	FLIPソリューションズ	Ver. 7. 3.0_2	Ver. 7. 4.0(注1)	貯留堰	2次元有限要素法による地震応答解析(有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7. 2.3.4	放水口側防波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	○	V-3-別添3-2-9	貯留堰の強度計算書	
3-9	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6. 2.0	Ver. 7. 0.0(注1)	防潮堤(鋼製防護壁)	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	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	添付資料13	Ver. 5. 0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-3-別添3-2-1-1	防潮堤(鋼製防護壁)の強度計算書	
3-10	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6. 2.0	Ver. 7. 0.0(注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	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	添付資料13	Ver. 5. 0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-3-別添3-2-1-2-1	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)の強度計算書	
3-11	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6. 2.0	Ver. 7. 0.0(注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	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	添付資料13	Ver. 5. 0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	V-3-別添3-2-1-2-2	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))の強度計算書	

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。

資料3 解析コードリスト (強度) (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	使用目的	実績	プラント名	対象工認件名	添付書類	バージョン	使用実績 (先行プランを含む)				関連添付書類		備考
												対象設備	添付資料	ハンズル	ハンズル	添付資料	使用目的	
3-12	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	Ver. 5.0	Ver. 5.0	○	V-3-別添3-2-1-3	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)の強度計算書	
3-13	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	防潮扉	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	Ver. 5.0	Ver. 5.0	○	V-3-別添3-2-1-4	防潮扉の強度計算書	
3-14	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	構内排水路逆流防止設備	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	Ver. 5.0	Ver. 5.0	○	V-3-別添3-2-3	構内排水路逆流防止設備の強度計算書	
3-15	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0 (注1)	貯留堰	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大阪3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	資料13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	Ver. 5.0	Ver. 5.0	○	V-3-別添3-2-9	貯留堰の強度計算書	
3-16	Engineer's Studio	株式会社フオーラムエイト	Ver. 6.00.04	Ver. 7.01.0 (注1)	防潮堤(鋼製防護壁)	3次元有限要素法による静的解析	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-3-別添3-2-1-1	防潮堤(鋼製防護壁)の強度計算書	
3-17	Engineer's Studio	株式会社フオーラムエイト	Ver. 6.00.04	Ver. 7.01.0 (注1)	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	3次元有限要素法による静的解析	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-3-別添3-2-1-2-1	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)の強度計算書	
3-18	FREEMING	富士通エフ・アイ・ピー株式会社	Ver. 14.1B	Ver. 14.1B	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))	平面骨組解析(断面力算出)	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-3-別添3-2-1-2-2	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))の強度計算書	
3-19	FREEMING	富士通エフ・アイ・ピー株式会社	Ver. 14.1B	Ver. 14.1B	貯留堰	平面骨組解析(断面力算出)	×	-	-	-	-	-	-	-	○	V-3-別添3-2-9	貯留堰の強度計算書	
3-20	RC断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	防潮堤(鋼製防護壁)	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	資料3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト堅坑、海水戻り管堅坑、大容量空冷式発電機エリア基礎	Ver. 5.02.04	Ver. 5.02.04	○	V-3-別添3-2-1-1	防潮堤(鋼製防護壁)の強度計算書	
3-21	RC断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	資料3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト堅坑、海水戻り管堅坑、大容量空冷式発電機エリア基礎	Ver. 5.02.04	Ver. 5.02.04	○	V-3-別添3-2-1-2-1	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)の強度計算書	
3-22	RC断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	資料3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト堅坑、海水戻り管堅坑、大容量空冷式発電機エリア基礎	Ver. 5.02.04	Ver. 5.02.04	○	V-3-別添3-2-1-2-2	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))の強度計算書	
3-23	RC断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海3号機	新規制基準適合性審査に係る工事計画承認	資料3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト堅坑、海水戻り管堅坑、大容量空冷式発電機エリア基礎	Ver. 5.02.04	Ver. 5.02.04	○	V-3-別添3-2-1-3	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)の強度計算書	

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。



資料3 解析コードリスト (強度) (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	添付書類	バージョン	対象設備	使用目的	添付書類	添付書類		添付書類
3-24	RC断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	防潮扉	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海3号機	新規制基礎適合性審査に係る工事計画認可申請	資料3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト、堅坑、海水戻り管、大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-3-別添 3-2-1-4	防潮扉の強度計算書	
3-25	RC断面計算	株式会社フオーラムエイト	Ver. 8.0.5	Ver. 8.0.5	構内排水路逆流防止設備	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海3号機	新規制基礎適合性審査に係る工事計画認可申請	資料3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト、堅坑、海水戻り管、大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	V-3-別添 3-2-3	構内排水路逆流防止設備の強度計算書	
3-26	RESP-T	株式会社構造計画研究所	Ver. 5.1.3.4	Ver. 5.1.3.4	防潮堤 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	2次元はりモデルによる静的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	V-3-別添 3-2-1-3	防潮堤 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁) の強度計算書	
3-27	RESP-T	株式会社構造計画研究所	Ver. 5.1.3.4	Ver. 5.1.3.4	防潮扉	2次元はりモデルによる静的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	V-3-別添 3-2-1-4	防潮扉の強度計算書	
3-28	RESP-T	株式会社構造計画研究所	Ver. 5.1.3.4	Ver. 5.1.3.4	構内排水路逆流防止設備	2次元はりモデルによる静的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	V-3-別添 3-2-3	構内排水路逆流防止設備の強度計算書	
3-29	APOLLO SuperDesigner Section	株式会社横河技術情報	Ver. 10.11.0.3	Ver. 10.11.0.3	防潮堤 (鋼製防護壁)	鋼部材の断面剛性算出	×	-	-	-	-	-	-	○	V-3-別添 3-2-1-1	防潮堤 (鋼製防護壁) の強度計算書	
3-30	APOLLO SuperDesigner Splice	株式会社横河技術情報	Ver. 10.11.0.3	Ver. 10.11.0.3	防潮堤 (鋼製防護壁)	鋼部材連結部のボルト設計・添接板応力照査	×	-	-	-	-	-	-	○	V-3-別添 3-2-1-1	防潮堤 (鋼製防護壁) の強度計算書	
3-31	APOLLO SuperDesigner Ribcheck	株式会社横河技術情報	Ver. 10.11.0.3	Ver. 10.11.0.3	防潮堤 (鋼製防護壁)	鋼部材におけるリブの応力照査	×	-	-	-	-	-	-	○	V-3-別添 3-2-1-1	防潮堤 (鋼製防護壁) の強度計算書	

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。

資料 4 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 (1/1)

No.	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
4-1	MSC NASTRAN	MSC Software Corporation	Ver. 2018.0.1	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))	2次元有限要素法(シェル要素)による静的解析	○	玄海4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. 2008r1	原子炉周辺建屋他	3次元有限要素法(はり, シェル, ソリッドモデル)による静的応力解析	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機能の修正(新 IFF を使用すると過渡応答結果が異なる。モールド周波数応答で AOMS 不具合等) 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。
4-2	FLIP	F L I P コンソーシアム	Ver. 7.3.0.2	取水構造物等	2次元有限要素法による地震応答解析(有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 2.3.4	防波堤, 防潮扉, 屋外排水路逆流防止設備, 放水ピット止水板	地震応答解析	バージョンアップに伴う変更点は、杭-地盤相互作用は必要要素を用いて杭軸方向非線形ばねを容易に設定出来るようになったこととであり、今回の解析結果に影響を及ぼさない。
4-3	microSHAK E/3D	株式会社地震工学研究所	Ver. 2.2.3.311	常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備等	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大坂3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 13	Ver. 2.0.1.179	屋外保管設備	地震応答解析(入力地震動算定)	バージョンアップに伴う変更点は、入力地震動をフーリエ級数展開する際に 0Hz 成分を考慮することであるが、バージョンの違いにより解析結果に有意な影響を与える差異は生じない。
4-4	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	取水構造物等	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	大坂3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 13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	バージョンアップに伴う変更点は、機能の拡張(入力地震動のデータ点数の上限を拡張, 地盤モデル化層数の拡張等)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。
4-5	FRAME (面内)	株式会社フオアラムエイト	Version 5.0.4	常設低圧代替注水系ポンプ室等	2次元骨組構造解析(断面力算出)	○	大坂3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 13	Ver. 5.00	止水壁	平面骨組解析(断面力算出)	バージョンアップに伴う変更点は、不具合の修正(面内計算において剛域部材の部材力が正しく得られないケースが発生する等)に関するものであり、修正されたことにより不具合が解消されている。
4-6	RC 断面計算	株式会社フオアラムエイト	Ver. 8.0.5	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎等	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海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 3	Ver. 5.02.04	海水管ダクト堅坑, 海水戻り管堅坑, 大容量空冷式発電機エリア基礎	鉄筋コンクリートの応力解析(断面照査)	バージョンアップに伴う変更点は、不具合の修正(PPF ファイルにテキスト出力する際の不具合の修正等)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。
4-7	TDAP III	大成建設株式会社, 株式会社アーク情報システム	Ver. 3.08	常設代替高圧電源装置用カルバート(立坑部)	静的応力解析	○	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	Ver. 3.05	中央制御室遮へい	固有値解析, 静的応力解析	バージョンアップに伴う変更点は、機能の追加(応答スペクトルの計算点数の上限を拡張, 2次元ジョイント要素の直応力・せん断応力の図化機能追加等)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。
4-8	TDAP III	大成建設株式会社, 株式会社アーク情報システム	Ver. 3.08	常設代替高圧電源装置用カルバート(立坑部)	2次元骨組構造解析	○	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. 3.01	取水ピット, 取水格, 取水口, 貯留庫, 海水管ダクト堅坑部, 海水管ダクト, 海水ポンプエリア防護壁, 防護壁	2次元有限要素法による地震応答解析及び応力解析並びに2次元骨組構造解析	

資料 5 工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (1/3)

No.	関連 目録 番号	解析コード名	対象設備	工認における 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
5-1	V-2-2-6 等	FLIP	取水構造物 等	地震応答解析(時刻 歴解析)	<ul style="list-style-type: none"> <li>有限要素法に基づくプログラムである。</li> <li>平面ひずみ状態を解析対象とする。</li> <li>地盤の有効応力の变化を考慮した地震応答解析を行い、部材の断面力や変形量を計算する。</li> <li>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。</li> <li>有効応力の变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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードは港湾施設の設計に用いられる「港湾施設の技術上の基準・同解説(2007)(社団法人日本港湾協会)」において、港湾施設に対して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。</li> <li>関西電力株式会社の「高浜原子力発電所第4号機」において、防潮堤、防潮扉、屋外排水路逆流防止設備、放水ピストン止水板の地震応答解析に本コード(Ver.7.2.3.4)が使用された実績があり、杭以外の構造の施設に適用性があるということは、高浜4号で既に検証されている。</li> <li>バージョン更新により導入された杭軸方向の「杭-地盤相互作用ばね要素」は、他プラントの既工事計画で使用されたバージョン(Ver.7.2.3.4)での杭軸方向のジョイント要素と名称は異なるものの、実質の構成式としては同じであるが、本工事計画において使用するバージョン(Ver.7.3.0_2)と他プラントの既工事計画で使用されたバージョン(Ver.7.2.3.4)との解析結果の比較を行い、解析結果が等しいことを確認した。なお、杭軸直交方向の杭-地盤相互作用ばねは、Ver.7.3.0_2とVer.7.2.3_4で名称も構成式も同じである。</li> <li>本工事計画における構造に対し使用する地震応答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。</li> </ul>	土木構造物
5-2	V-2-10-4-2 等	Engineer's Studio	SA 用海水ピット取水 塔 等	3次元有限要素法 による静的解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>土木建築構造物の部材を、1本の棒に見立てたはり要素や平面的に連続した平板要素でモデル化して構造物の応答解析を行い、断面力及び変位の算出を行う。</li> <li>地盤の非線形性は、非線形ばね要素でモデル化することにより考慮する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードによる単純梁、単純平板モデルに対する解析結果と理論解が一致することを確認している。</li> <li>本解析コードによる非線形地盤ばねの履歴が想定している骨格曲線と一致していることを確認している。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>検証内容のとおり、梁モデル、平板モデル、地盤ばね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。</li> </ul>	土木構造物

資料 5 工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (2/3)

No.	関連 目録 番号	解析コード名	対象設備	工認における 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
5-3	V-2-2-39-2 等	FREMIING	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア)) 等	平面骨組解析(断面力算出)	<ul style="list-style-type: none"> <li>平面骨組構造解析の汎用市販コードである。本解析コードは、2次元平面内平面骨組計算プログラムであり、平面構造物にモデル化できる構造物はすべて計算が可能である。適用範囲として、橋梁、鉄塔、トンネル、及び共同溝などの土木構造物から、ビル、建屋など建築構造物の設計計算に利用可能である。また、面内荷重及び面外荷重において、線形及び非線形解析が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料力学分野における一般的知見に基づいて、2次元骨組解析モデルによる解析解(断面力)と理論解と比較し、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードは、国内の土木建築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。</li> <li>本解析コードによる解析結果と比較し、双方の解が一致することを確認している。</li> <li>今回の工認申請で実施する骨組解析モデルによる断面力算出の用途、及び適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内にあることを確認している。</li> </ul>	土木構造物
5-4	V-2-2-37 等	RESP-T	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁) 等	2次元はりモデルによる静的解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>RESP-Tは、建築・土木構造物を対象とした静的解析及び時刻歴による地震応答解析を行う解析用プログラムである。建物の諸定数(せん断ばね、減衰定数、層高さ、質量等)を入力として、静的解析及びニューマークβ法を用いた地震応答解析を行うことができ、解析結果としては、加速度、変位、せん断力、曲げモーメント等が求められる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードによる解析解と、既工事計画において実績のある別コード(Femap with NX Nastran)による解析解が概ね一致することを確認している。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードは、建築、土木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。</li> <li>開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する2次元要素による静的フレーム解析が本解析コードで適用できることを確認している。</li> <li>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、開発機関から提示された範囲内であることを確認している。</li> <li>本工事計画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異なるが、使用する機能に変更はないことを確認している。</li> </ul>	土木構造物
5-5	V-2-10-2-2-1	TDAP III	防潮堤(鋼製防護壁)	3次元骨組みモデルによる動的解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>TDAP IIIは、構造解析の汎用コードであり、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ブポートしていることが特徴で、日本国内では、官公庁、大学及び民間問わず、多くの利用実績がある。</li> <li>静的荷重(節点力、静的震度、強制変形)及び動的荷重(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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードの計算機能が適正であることは、別途、妥当性確認資料の中で確認している。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>本工事計画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。</li> <li>本工事計画における構造に対して行う地震応答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。</li> </ul>	土木構造物

資料 5 工事の計画において使用実績のない解析コードリスト (3/3)

No.	関連 目録 番号	解析コード名	対象設備	工認における 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
5-6	V-2-2-33 等	UC-win/Section	SA用擁水ピット 等	鉄筋コンクリート 断面の応力度照査	<ul style="list-style-type: none"> <li>UC-win/Sectionは、鉄筋コンクリート断面の断面諸量、応力度計算、断面耐力算定を行う解析コードで、主な特徴は下記の通りである。</li> <li>鉄筋の情報(位置、断面積)を1本毎に考慮でき、複鉄筋など配筋に忠実な断面計算が可能である。</li> <li>任意形状に対して2軸曲げの計算が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードによる複鉄筋の断面照査結果と理論解が一致することを確認している。</li> <li>本解析コードによる2軸曲げの計算結果と理論解が一致することを確認している。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。検証の内容の通り、複鉄筋および2軸曲げ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。</li> </ul>	土木構造物
5-7	V-2-10-2-2-1	APOLLO SuperDesigner Section	防濶堤(鋼製防護壁)	鋼部材の断面剛性算出	<ul style="list-style-type: none"> <li>APOLLO SuperDesigner Sectionは、曲げねじり理論によって算出した断面諸量を用いて、垂直応力度・せん断応力度・ねじり応力度を算出し、各種適用許容応力度を用いて照査を行うプログラムである。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>APOLLO SuperDesigner Sectionを用いて算出した断面諸量(ねじり剛性)が、構造力学公式集によって算出した断面諸量(ねじり剛性)と一致していることを確認している。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>検証の内容の通り、断面諸量計算結果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。</li> </ul>	土木構造物
5-8	V-2-10-2-2-1	APOLLO SuperDesigner Splice	防濶堤(鋼製防護壁)	鋼部材連結部のボルト設計・添接板応力照査	<ul style="list-style-type: none"> <li>本プログラムは、道路橋示方書(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)・同解説(社)日本道路協会、平成24年3月)「高力ボルト継手」に準拠した鋼構造連結部の摩擦接合による継手計算を行うものである。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>APOLLO SuperDesigner Spliceを用いて算出した継手部における必要ボルト本数及び必要添接板厚が、道路橋示方書の規定により算出した必要ボルト本数及び必要添接板厚と一致することを確認している。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>検証の内容の通り、添接計算結果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。</li> </ul>	土木構造物
5-9	V-2-10-2-2-1	APOLLO SuperDesigner Ribcheck	防濶堤(鋼製防護壁)	鋼部材におけるリブの応力照査	<ul style="list-style-type: none"> <li>本プログラムは、道路橋示方書(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)・同解説(社)日本道路協会、平成24年3月(4.2.5)に準拠した縦リブの剛性照査並びに横リブ断面指定及び剛性照査を行うものである。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>APOLLO SuperDesigner Ribcheckを用いて算出した縦リブの必要断面剛性と、道路橋示方書に規定されている必要剛性が一致していることを確認している。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>検証の内容の通り、道路橋示方書を満足するリブ剛性を確保できていることを照査できていることから、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。</li> </ul>	土木構造物

資料 6 補足説明資料において使用している解析コードリスト (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	使用目的	使用実績 (先行プラント含む)						関連補足説明資料			
							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	原子力産業界一般産業界	資料番号	資料名称
6-1	MSC NASTRAN	MSC Software Corporation	Ver. 2018.0.1	Ver. 2018.0.1	防潮堤(鉄筋コンクリート防波壁(放水路(エア))等)	2次元有限要素法(はり, シェル)による静的解析	○	玄海4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. 2008r1	原子力炉周辺建屋他	3次元有限要素法(はり, シェル, ソリッドモデル)による静的応力解析	○	補足-340-8	屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について
6-2	FLIP	FLIPコンソーシアム	Ver. 7.3.0_2	Ver. 7.4.0	防潮堤(鉄筋コンクリート防波壁(放水路(エア))等)	2次元有限要素法による地震応答解析(有効応力法)	○	高浜4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	Ver. 7.2.3.4	放水口側防波壁, 防波壁, 屋外排水路遮断防波壁, 放水ポンプ止水板	地震応答解析	○	補足-60-1等	工事計画に係る説明資料(津波への配慮に関する説明書)等
6-3	microSHAKE/3D	株式会社地震工学研究所	Ver. 2.2.3.311	Ver. 2.3.0	屋外重要土木構造物	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	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	添付資料 13	Ver. 2.0.1.179	屋外保管設備	地震応答解析(入力地震動算定)	○	補足-340-8	屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について
6-4	k-SHAKE	株式会社構造計画研究所	Ver. 6.2.0	Ver. 7.0.0	防潮堤(鉄筋コンクリート防波壁(放水路(エア))等)	1次元地震応答解析(入力地震動算定)	○	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	添付資料 13	Ver. 5.0	海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部	地震応答解析(入力地震動算定)	○	補足-60-1等	工事計画に係る説明資料(津波への配慮に関する説明書)等
6-5	FRAME (面内)	株式会社フオアラムエイト	Version 5.0.4	Ver. 5.0.4	屋外重要土木構造物	2次元骨組構造解析(断面力算出)	○	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	添付資料 13	Ver. 5.00	止水壁	平面骨組解析(断面力算出)	○	補足-340-8	屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について
6-6	FREMIING	富士通エフ・アイ・ビー株式会社	Version14.1B	Version14.1B	防潮堤(鉄筋コンクリート防波壁(放水路(エア))等)	平面骨組構造解析(断面力算出)	×	-	-	-	-	-	-	○	補足-60-1等	工事計画に係る説明資料(津波への配慮に関する説明書)等

資料 6 補足説明資料において使用している解析コードリスト (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	使用目的	使用実績 (先行プラント含む)							関連補足説明資料		
							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	原子力産業界 一般産業界	資料番号	資料名称
6-7	RC 断面計算	株式会社フオオラ ムエイト	Ver. 8. 0. 5	Ver. 8. 0. 5	防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁 (放水路エリア) ) 等	鉄筋コンクリートの応力度計算	○	玄海 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 3	Ver. 5. 02. 04	海水管ダクト堅坑	鉄筋コンクリートの応力解析 (断面照査)	○	補足-60-1 等	工事計画に係る説明資料 (津波への配慮に関する説明書) 等
6-8	TDAP III	大成建設株式会社, 株式会社アーケ情報システム	Ver. 3. 08	Ver. 3. 09	防潮堤 (鋼製防護壁)	3次元骨組みモデルによる地震応答解析	×	-	-	-	-	-	-	○	補足-60-1	工事計画に係る説明資料 (津波への配慮に関する説明書)
6-9	TDAP III	大成建設株式会社, 株式会社アーケ情報システム	Ver. 3. 08	Ver. 3. 09	屋外重要土木構造物	静的応力解析	○	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	Ver. 3. 05	中央制御室へ	固有直解法、静的応力解析	○	補足-340-8	屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について
6-10	TDAP III	大成建設株式会社, 株式会社アーケ情報システム	Ver. 3. 08	Ver. 3. 09	常設代番高圧電源装置用カルバート (立坑部)	2次元骨組構造解析	○	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. 01	取水ピット、取水路、取水口、貯留堰、海水管ダクト堅坑部、海水管ダクト、海水ポンプエリア防護壁、防護堤	2次元有限要素法による地震応答解析及び応力解析並びに2次元骨組構造解析	○	補足-340-8	屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について
6-11	OpenFOAM	OpenCFD Ltd	v1706	Ver. 5. 0	貯留堰	3次元数値流体解析 (スロッシング解析)	×	-	-	-	-	-	-	○	補足-60-1	5. 12 スロッシングによる貯留堰貯水量に対する影響評価について
6-12	COM3	東京大学コンクリート研究室	Ver. 9. 15	Ver. 9. 15	防潮堤 (鋼製防護壁)	鉄筋コンクリート構造物の3次元非線形動的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	補足-60-1	6. 1 鋼製防護壁に関する補足説明
6-13	ABAQUS	ダッソーシステムズ社	Abaqus/Standard2017x	2017	防潮堤 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	3次元有限要素法 (ソリッド、シェル要素) による応力解析	○	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	6. 12-1	使用済燃料ピットラック	3次元有限要素法 (ソリッド、シェル要素) による応力解析	○	補足-60-1	6. 4 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁に関する補足説明

資料6 補足説明資料において使用している解析コードリスト (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	使用目的	使用実績 (先行プラント含む)							関連補足説明資料		
							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	原子力産業界 一般産業界	資料番号	資料名称
6-14	MSC MARC	MSC Software Corporation	Ver. 2014. 2. 0	Ver. 2017. 1	防潮堤 (鋼製防護壁)	3次元有限要素法 (ソリッド要素) による応力解析	×	-	-	-	-	-	-	○	補足-60-1	工事計画に係る説明資料 (津波への配慮に関する説明書)
6-15	Engineer's Studio	株式会社フオアラムエイト	Ver. 6. 00. 04	Ver. 7. 01. 00	取水構造物	3次元有限要素法による静的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	補足-60-1等	工事計画に係る説明資料 (津波への配慮に関する説明書) 等
6-16	RESP-T	株式会社構造計画研究所	Ver. 5. 1. 3. 4	Ver. 5. 1. 3. 4	防潮堤 (鋼管杭鉄筋コンクリート防振壁)	2次元はりモデルにより静的解析	×	-	-	-	-	-	-	○	補足-60-1	工事計画に係る説明資料 (津波への配慮に関する説明書)
6-17	UC-win/Section	株式会社フオアラムエイト	Ver. 6. 02. 01	Ver. 6. 02. 02	SA用海水ピット	鉄筋コンクリート断面の応力度照査	×	-	-	-	-	-	-	○	補足-60-1等	工事計画に係る説明資料 (津波への配慮に関する説明書) 等
6-18	APOLLO SuperDesigner Section	株式会社横河技術情報	Ver. 10. 11. 0. 3	Ver. 10. 11. 0. 3	防潮堤 (鋼製防護壁)	鋼部材の断面剛性算出	×	-	-	-	-	-	-	○	補足-60-1	工事計画に係る説明資料 (津波への配慮に関する説明書)
6-19	APOLLO SuperDesigner Splice	株式会社横河技術情報	Ver. 10. 11. 0. 3	Ver. 10. 11. 0. 3	防潮堤 (鋼製防護壁)	鋼部材連結部トポロジ設計・添接板応力照査	×	-	-	-	-	-	-	○	補足-60-1	工事計画に係る説明資料 (津波への配慮に関する説明書)
6-20	APOLLO SuperDesigner Ribcheck	株式会社横河技術情報	Ver. 10. 11. 0. 3	Ver. 10. 11. 0. 3	防潮堤 (鋼製防護壁)	鋼部材におけるおける力の応力照査	×	-	-	-	-	-	-	○	補足-60-1	工事計画に係る説明資料 (津波への配慮に関する説明書)



V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・MSC NASTRAN

## 目次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	4
2.1 MSC NASTRAN Ver.2018.0.1	4

## 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）MSC NASTRANについて説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-35	緊急用海水ポンプピットの耐震性についての計算書	2018.0.1
V-3-別添3-2-1-2-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の強度計算書	2018.0.1
V-2-2-3	原子炉建屋の基礎の耐震性についての計算書	2016.1.1
V-2-4-2-1	使用済燃料プールの耐震性についての計算書	2016.1.1
V-2-9-2-2	原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書	2016.1.1
V-2-9-3-4	原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書	2016.1.1
V-2-2-11	緊急時対策所建屋の耐震性についての計算書	2016.1.1
V-2-2-19	格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書	2016.1.1
V-2-2-15-2	主排気筒の基礎の耐震性についての計算書	2013.1.1
V-1-2-1	原子炉本体の基礎に関する説明書	2013
V-2-2-9	屋外二重管の耐震性についての計算書	2013
V-2-3-4-4-9	高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	2013
V-2-3-4-4-10	差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	2013
V-2-3-4-4-11	中性子計測案内管の耐震性についての計算書	2013
V-2-9-4-1	ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書	2013
V-3-3-2-5	差圧検出・ほう酸水注入管（ティーより N10 ノズルまでの外管）の応力計算書（V-2-3-4-3-4 を含む）	2013
V-3-3-3-9	高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書	2013
V-3-3-3-10	差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書	2013
V-3-別添 1-2-1-3	架構の強度計算書	2012.2.0
V-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書	2012.2.0
V-3-別添 2-2-1	防護対策施設の強度計算書	2012.2.0
V-2-2-5	使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書	2008 rev1
V-2-11-2-13	使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋の耐震性についての計算書	2008 rev1
V-3-別添 2-1-6	建屋の強度計算書	2008 rev1
V-2-10-1-7-17	常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の耐震性についての計算書	2008.0.4

使用添付書類		バージョン
V-2-2-15-1	主排気筒の耐震性についての計算書	2008
V-2-7-2-5	非常用ガス処理系排気筒の耐震性についての計算書	2008
V-2-別添1-4	ガスボンベ設備の耐震計算書	2008
V-2-5-4-1-2	残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算書	2006 rev1
V-2-5-5-1-1	高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書	2006 rev1
V-2-5-5-2-1	低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書	2006 rev1
V-2-10-1-2-7	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの耐震性についての計算書	2006 rev1
V-2-10-1-3-6	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの耐震性についての計算書	2006 rev1
V-2-5-5-5-1	常設低圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書	Ver. 2006r1
V-2-5-7-2-1	緊急用海水ポンプの耐震性についての計算書	2006 rev1
V-3-5-3-1-2	残留熱除去系ポンプの強度計算書	2006 rev1
V-3-5-4-1-1	高圧炉心スプレイ系ポンプの強度計算書	2006 rev1
V-3-5-4-2-1	低圧炉心スプレイ系ポンプの強度計算書	2006 rev1
V-2-3-4-4-5	ジェットポンプの耐震性についての計算書	2005
V-2-3-4-4-6	給水スパージャの耐震性についての計算書	2005
V-2-3-4-4-7	高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの耐震性についての計算書	2005
V-2-3-4-4-8	残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	2005
V-2-9-2-1	原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書	2005
V-2-9-2-3	上部シアラグ及びスタビライザの耐震性についての計算書	2005
V-2-9-2-4	下部シアラグ及びダイヤフラムガasketの耐震性についての計算書	2005
V-2-9-2-6	機器搬入用ハッチの耐震性についての計算書	2005
V-2-9-2-8	サブプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書	2005
V-2-9-2-7	所員用エアロックの耐震性についての計算書	2005
V-2-9-2-9	配管貫通部の耐震性についての計算書	2005
V-2-9-2-10	電気配線貫通部の耐震性についての計算書	2005
V-2-9-4-2	ベント管の耐震性についての計算書	2005
V-2-9-4-3-1	格納容器スプレイヘッドの耐震性についての計算書	2005

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 MSC NASTRAN Ver. 2018. 0. 1

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
使用目的	2次元有限要素法（はり，シェルモデル）による静的解析
開発機関	MSC. Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2018. 0. 1
コードの概要	<p>有限要素法を用いたMSC NASTRANは、世界で圧倒的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。その誕生は1965年，現在の米国MSC. Software Corporationの前身である米国The MacNeal-Schwendler Corporationの創設者，マクニール博士とシュウェンドラー博士が，当時NASA（The National Aeronautics and Space Administration）で行なわれていた，航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムはNASTRAN（NASA Structural Analysis Program）と命名され，1971年にThe MacNeal-Schwendler CorporationからMSC NASTRANとして一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来，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，土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために，常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは，緊急用海水ポンプピット及び防潮堤（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している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></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"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></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"><li>・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。</li><li>・九州電力株式会社の「玄海原子力発電所第4号機」において、原子炉周辺建屋及びその他の建物・構築物の静的応力解析に本コード（Ver.2008 r1）が使用された実績がある。</li><li>・今回の工認申請において使用するバージョンは、既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。</li><li>・既工認で妥当性確認を行ったのは、はり要素、シェル要素及びソリッド要素を用いた3次元有限要素法によるモデルであり、今回実施する2次元有限要素法（はり要素、ソリッド要素）による静的解析と理論的には類似であることから、上述した妥当性確認が2次元静的解析にも展開できる。</li><li>・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。</li></ul>
--	---





東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-668 改3
提出年月日	平成30年9月20日

V-5-10 計算機プログラム（解析コード）の概要・F L I P

## 目次

1.	はじめに	1
1.1	使用状況一覧	2
2.	解析コードの概要	4
3.	解析理論	6
3.1	支配方程式	6
3.2	構成則	13
4.	解析フローチャート	16
5.	FLIPの変更履歴	17
6.	杭-地盤相互作用ばね	20
7.	有効応力解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認	25
7.1	概要	25
7.2	杭と周辺地盤の相互作用	25
7.3	解析結果	26

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） F L I P について説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-1-1-6-別添1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-5	使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-6	取水構造物の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-7	取水構造物の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-8	屋外二重管の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-9	屋外二重管の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-11	緊急時対策所建屋の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-12	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-13	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-20	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-21	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-22-1	常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-22-2	常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-22-3	常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-22-4	常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-23-1	常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-23-2	常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-23-3	常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-23-4	常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-24	可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-25	可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-26	常設低圧代替注水系ポンプ室の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-27	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-28	代替淡水貯槽の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2

V-2-2-29	代替淡水貯槽の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-30	常設低圧代替注水系配管カルバートの地震応答解析	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-31	常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-32	S A用海水ピットの地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-33	S A用海水ピットの耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-34	緊急用海水ポンプピットの地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-35	緊急用海水ポンプピットの耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-36	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-37	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-38-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-38-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の地震応答計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-39-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-2-39-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-10-2-2-2	防潮扉の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-10-2-4	構内排水路逆流防止設備の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-10-4-2	S A用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-10-4-3	海水引込み管の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-10-4-4-1	貯留堰の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-10-4-4-2	貯留堰取付護岸の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-10-4-5	緊急用海水取水管の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-2-11-2-16	土留鋼管矢板の耐震性についての計算書	Ver. 7.3.0_2
V-3-別添3-2-1-1	防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書	Ver. 7.3.0_2
V-3-別添3-2-1-2-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の強度計算書	Ver. 7.3.0_2
V-3-別添3-2-1-2-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の強度計算書	Ver. 7.3.0_2
V-3-別添3-2-1-3	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の強度計算書	Ver. 7.3.0_2
V-3-別添3-2-1-4	防潮扉の強度計算書	Ver. 7.3.0_2
V-3-別添3-2-3	構内排水路逆流防止設備の強度計算書	Ver. 7.3.0_2
V-3-別添3-2-9	貯留堰の強度計算書	Ver. 7.3.0_2

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FLIP
使用目的	地震応答解析（時刻歴解析）
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. 7.3.0_2
コードの概要	<p>FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program) は、1988年に運輸省港湾技術研究所（現：（独）港湾航空技術研究所）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>FLIPの主な特徴として、以下の項目を挙げることができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①有限要素法に基づくプログラムである。</li> <li>②平面ひずみ状態を解析対象とする。</li> <li>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、部材の断面力や変形量を計算する。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></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"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></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"> <li>・本解析コードは港湾施設の設計に用いられる「港湾施設の技術上の基準・同解説（2007）（社団法人日本港湾協会）」において、港湾施設に対して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。</li> <li>・関西電力株式会社の「高浜原子力発電所第4号機」において、防潮堤、防潮扉、屋外排水路逆流防止設備、放水ピット止水板の地震応答解析に本コード（Ver. 7.2.3.4）が使用された実績があり、杭以</li> </ul>

	<p>外の構造の施設に適用性があるということは、高浜4号で既に検証されている。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>バージョン更新により導入された杭軸方向の「杭-地盤相互作用ばね要素」は、他プラントの既工事計画で使用されたバージョン (Ver. 7.2.3_4) での杭軸方向のジョイント要素と名称は異なるものの実質の構成式としては同じであるが、本工事計画において使用するバージョン (Ver. 7.3.0_2) と他プラントの既工事計画で使用されたバージョン (Ver. 7.2.3_4) との解析結果の比較を行い、解析結果が等しいことを確認した。なお、杭軸直交方向の杭-地盤相互作用バネは、Ver. 7.3.0_2 と Ver. 7.2.3_4 で名称も構成式も同じである。</li><li>本工事計画における構造に対し使用する地震応答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。</li></ul>
--	---

### 3. 解析理論

#### 3.1 支配方程式

##### 3.1.1 運動方程式及び水流の収支バランス式

Zienkiewiczらに従い、間隙水で満たされた多孔質体の運動方程式および水流の収支バランスを表す式を次のようにおく (u-p formulation)。

$$\sigma_{ij,j} + \rho g_i = \rho \ddot{u}_i \quad (3-1-1)$$

$$(k_{ij} p_{,j})_{,i} - \varepsilon_{ii} - (k_{ij} \rho_f g_j)_{,i} = -(k_{ij} \rho_f \ddot{u}_j)_{,i} + n \dot{p} / K_f \quad (3-1-2)$$

ここで、

$\sigma_{ij}$	全応力 (対称テンソル)
$\rho$	密度 (土と水の複合物としての密度)
$g_i$	重力加速度ベクトル
$u_i$	土骨格の変位ベクトル
$k_{ij}$	透水係数 (対称テンソル)
$p$	間隙水圧
$\varepsilon_{ij}$	土骨格のひずみ (対称テンソル)
$\rho_f$	間隙水の密度
$n$	間隙率
$K_f$	間隙水の体積弾性係数

である。

また、以下に示す関係がある。

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} - \delta_{ij} p \quad (\text{有効応力原理}) \quad (3-1-3)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (\text{微小ひずみテンソル}) \quad (3-1-4)$$

ここで、 $\sigma'_{ij}$ は有効応力、 $\delta_{ij}$ はクロネッカーのデルタである。

なお、本定式化では、ひずみと応力に関しては、収縮・圧縮を負、伸張・引張を正とする。ただし、間隙水圧に関しては、圧縮を正とする。

##### 3.1.2 境界条件と初期条件

式(3-1-1) (3-1-2)に対し、次に示す4種の境界条件を考える。

$$u_i = \bar{u}_i \quad \text{on } \partial\Omega_u \quad (3-1-5)$$

$$t_i = \sigma_{ij} n_j = \bar{t}_i \quad \text{on } \partial\Omega_\sigma \quad (3-1-6)$$

$$p = \bar{p} \quad \text{on } \partial\Omega_p \quad (3-1-7)$$

$$q = -\dot{w}_j n_j = k_{ij} (p_{,i} - \rho_f g_i + \rho_f \ddot{u}_i) n_j = \bar{q} \quad \text{on } \partial\Omega_q \quad (3-1-8)$$

ここで、

$\bar{u}_i$	$\partial\Omega_u$ 境界上で規定される変位
$\bar{t}_i$	$\partial\Omega_\sigma$ 境界上で規定される表面力
$\bar{p}$	$\partial\Omega_p$ 境界上で規定される間隙水圧
$\bar{q}$	$\partial\Omega_q$ 境界上で規定される間隙水流入量
$\dot{w}_i$	間隙水の骨格に対する相対速度 (断面平均)

なお、 $\partial\Omega_u$ 境界と $\partial\Omega_\sigma$ 境界を合わせたものが、対象領域 $\Omega$ の全表面 $\partial\Omega$ に等しい。また、



$\partial\Omega_u$ 境界と $\partial\Omega_\sigma$ 境界の共通部分はない。 $\partial\Omega_p$ 境界と $\partial\Omega_q$ 境界についても同様である。

一方、初期条件は領域 $\Omega$ の各点において、次のように与えられるものとする。

$$u_i = \dot{u}_i = \ddot{u}_i = 0 \quad (3-1-9)$$

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^{st} = \sigma'_{ij}{}^{st} - \delta_{ij}p^{st} \quad (3-1-10)$$

$$p = p^{st} \quad (3-1-11)$$

$$\dot{p} = 0 \quad (3-1-12)$$

特に、境界上では以下のように与えられるものとする。

$$u_i = \bar{u}_i^{st} = 0 \quad \text{on } \partial\Omega_u \quad (3-1-13)$$

$$t_i^{st} = \sigma_{ij}^{st}n_j = \bar{t}_i^{st} \quad \text{on } \partial\Omega_\sigma \quad (3-1-14)$$

$$p = \bar{p}^{st} \quad \text{on } \partial\Omega_p \quad (3-1-15)$$

$$q = k_{ij}(p_i^{st} - \rho_f g_i)n_j = \bar{q}^{st} \quad \text{on } \partial\Omega_q \quad (3-1-16)$$

これ以降、初期条件により示される系の状態を基準状態と呼ぶことにする。基準状態では、式(3-1-1)は、

$$\sigma_{ij,j}^{st} + \rho g_i = 0 \quad (3-1-17)$$

となる。式(3-1-17)を用い、式(3-1-1)から $\rho g_i$ の項を消去すると、次式を得る。

$$(\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{st})_{,j} = \rho \ddot{u}_i \quad (3-1-18)$$

また、基準状態では、式(3-1-2)は、

$$(k_{ij}p_{,j}^{st})_{,i} - (k_{ij}\rho_f g_j)_{,i} = 0 \quad (3-1-19)$$

となる。式(3-1-19)を用い、式(3-1-2)から重力加速度 $g_i$ を含む項を消去すると、次式を得る。

$$(k_{ij}(p_{,j} - p_{,j}^{st}))_{,i} - \dot{\epsilon}_{ii} = -(k_{ij}\rho_f \ddot{u}_j)_{,i} + n\dot{p}/K_f \quad (3-1-20)$$

以後、式(3-1-18)及び式(3-1-20)を用いて、有限要素法に基づく定式化を行う。

### 3.1.3 運動方程式の離散化

式(3-1-18)に示す運動方程式は、任意の試行関数（重み関数） $\phi_i$ を用いて、以下のとおり書くことができる。

$$\int_{\Omega} \phi_i \left( (\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{st})_{,j} - \rho \ddot{u}_i \right) dv + \int_{\partial\Omega_u} \phi_i (\bar{u}_i - u_i) ds + \int_{\partial\Omega_\sigma} \phi_i (\bar{t}_i - \sigma_{ij}n_j) ds = 0 \quad (3-1-21)$$

ここで、

$$\phi_i = 0 \quad \text{on } \partial\Omega_u \quad (3-1-22)$$

とすると、式(3-1-21)は、

$$\int_{\Omega} \phi_i (\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{st})_{,j} dv - \int_{\Omega} \rho \phi_i \ddot{u}_i dv + \int_{\partial\Omega} \phi_i (\bar{t}_i - \sigma_{ij}n_j) ds = 0 \quad (3-1-23)$$

となる。式(3-1-23)の左辺第1項は、Gaussの定理を用いると、

$$\int_{\Omega} \phi_i (\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{st})_{,j} dv = \int_{\partial\Omega} \phi_i (\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{st}) n_j ds - \int_{\Omega} \phi_{i,j} (\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{st}) dv \quad (3-1-24)$$

と表され、これを式(3-1-23)に代入すると次式を得る。

$$\int_{\Omega} \phi_{i,j} (\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{st}) dv + \int_{\Omega} \rho \phi_i \ddot{u}_i dv - \int_{\partial\Omega} \phi_i (\bar{t}_i - \bar{t}_i^{st}) ds = 0 \quad (3-1-25)$$

式(3-1-25)によれば、表面力としては、基準状態における表面力からの増力のみを考慮すればよいことがわかる。この増加分を $\bar{t}_i^*$ で表すことにする。すなわち、

$$\bar{t}_i^* = (\bar{t}_i - \bar{t}_i^{st}) \quad (3-1-26)$$

より、式(3-1-25)は以下のように書くことができる。

$$\int_{\Omega} \phi_{i,j} (\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{st}) dv + \int_{\Omega} \rho \phi_i \ddot{u}_i dv - \int_{\partial\Omega} \phi_i \bar{t}_i^* ds = 0 \quad (3-1-27)$$

ここで、応力の対称性を用いると、

$$\int_{\Omega} \frac{1}{2} (\phi_{i,j} + \phi_{j,i}) (\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{st}) dv + \int_{\Omega} \rho \phi_i \ddot{u}_i dv - \int_{\partial\Omega} \phi_i \bar{t}_i^* ds = 0 \quad (3-1-28)$$

となり、さらに、次式のように書くことができる。

$$\int_{\Omega} (\mathbf{L}\boldsymbol{\phi})^T (\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}_{st}) dv + \int_{\Omega} \rho \boldsymbol{\phi}^T \ddot{\mathbf{u}} dv - \int_{\partial\Omega} \boldsymbol{\phi}^T \bar{\mathbf{t}}^* ds = 0 \quad (3-1-29)$$

ここで、

$$\mathbf{L}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (3-1-30)$$

$$\boldsymbol{\sigma}^T = (\sigma_{xx} \quad \sigma_{yy} \quad \sigma_{zz} \quad \sigma_{xy} \quad \sigma_{yz} \quad \sigma_{zx}) \quad (3-1-31)$$

$$(\boldsymbol{\sigma}_{st})^T = (\sigma_{xx}^{st} \quad \sigma_{yy}^{st} \quad \sigma_{zz}^{st} \quad \sigma_{xy}^{st} \quad \sigma_{yz}^{st} \quad \sigma_{zx}^{st}) \quad (3-1-32)$$

$$\mathbf{u}^T = (u_x \quad u_y \quad u_z) \quad (3-1-33)$$

$$\boldsymbol{\phi}^T = (\phi_x \quad \phi_y \quad \phi_z) \quad (3-1-34)$$

$$(\bar{\mathbf{t}}^*)^T = (\bar{t}_x^* \quad \bar{t}_y^* \quad \bar{t}_z^*) \quad (3-1-35)$$

である。

ここで、試行関数 $\boldsymbol{\phi}$ は任意であるので、試行関数として仮想変位 $\delta\mathbf{u}$ を採用すると、式(3-1-29)より以下のような仮想仕事の原理が導かれる。

$$\int_{\Omega} (\mathbf{L}\delta\mathbf{u})^T (\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}_{st}) dv + \int_{\Omega} \rho (\delta\mathbf{u})^T \ddot{\mathbf{u}} dv - \int_{\partial\Omega} (\delta\mathbf{u})^T \bar{\mathbf{t}}^* ds = 0 \quad (3-1-36)$$

さらに、以下のとおり書ける。

$$\int_{\Omega} (\delta \boldsymbol{\varepsilon})^T (\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}_{st}) dv + \int_{\Omega} \rho (\delta \mathbf{u})^T \dot{\mathbf{u}} dv - \int_{\partial \Omega} (\delta \mathbf{u})^T \bar{\mathbf{t}}^* ds = 0 \quad (3-1-37)$$

ここで、

$$\boldsymbol{\varepsilon}^T = (\varepsilon_{xx} \quad \varepsilon_{yy} \quad \varepsilon_{zz} \quad \gamma_{xy} \quad \gamma_{yz} \quad \gamma_{zx}) \quad (3-1-38)$$

とする。なお、 $\gamma_{ij} = 2\varepsilon_{ij}$  ( $i \neq j$ )は工学ひずみである。

続いて、式(3-1-36)に示す運動方程式の離散化を行う。すなわち、変位などを補間関数  $H$ 、節点変位ベクトル  $\mathbf{u}$  などを用いて、以下のように表す。

$$\mathbf{u} = H \underline{\mathbf{u}} \quad (3-1-39)$$

$$\dot{\mathbf{u}} = H \dot{\underline{\mathbf{u}}} \quad (3-1-40)$$

ここで、2次元の場合、

$$H = \begin{bmatrix} h_1 & 0 & h_2 & 0 & h_3 & 0 & \cdots & h_N & 0 \\ 0 & h_1 & 0 & h_2 & 0 & h_3 & \cdots & 0 & h_N \end{bmatrix} \quad (3-1-41)$$

$$\underline{\mathbf{u}}^T = [u_x^1 \quad u_y^1 \quad u_x^2 \quad u_y^2 \quad u_x^3 \quad u_y^3 \quad \cdots \quad u_x^N \quad u_y^N] \quad (3-1-42)$$

となる。なお、 $N$ は1要素あたりの節点数である。

さらに、ひずみベクトル  $\boldsymbol{\varepsilon}$  は次のように表される。

$$\boldsymbol{\varepsilon} = L \mathbf{u} = L H \underline{\mathbf{u}} = B \underline{\mathbf{u}} \quad (3-1-43)$$

ここで、 $B$ は節点変位-ひずみ変換マトリクスであり、次の関係がある。

$$B = L H \quad (3-1-44)$$

これより、式(3-1-36)に示す運動方程式が、以下のように離散化される。

$$\int_{\Omega} (B \delta \underline{\mathbf{u}})^T (\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}_{st}) dv + \int_{\Omega} \rho (H \delta \underline{\mathbf{u}})^T H \dot{\underline{\mathbf{u}}} dv - \int_{\partial \Omega} (H \delta \underline{\mathbf{u}})^T \bar{\mathbf{t}}^* ds \quad (3-1-45)$$

$$= (\delta \underline{\mathbf{u}})^T \int_{\Omega} B^T (\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}_{st}) dv + (\delta \underline{\mathbf{u}})^T \int_{\Omega} \rho H^T H dv \dot{\underline{\mathbf{u}}} - (\delta \underline{\mathbf{u}})^T \int_{\partial \Omega} H^T \bar{\mathbf{t}}^* ds = 0$$

式(3-1-45)は、任意の仮想変位に対して成立するので、

$$\int_{\Omega} B^T (\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}_{st}) dv + M \dot{\underline{\mathbf{u}}} = \mathbf{t}^* \quad (3-1-46)$$

となる。ここで、

$$M = \int_{\Omega} \rho H^T H dv \quad (3-1-47)$$

$$\mathbf{t}^* = \int_{\partial \Omega} H^T \bar{\mathbf{t}}^* ds \quad (3-1-48)$$

であり、2次元の場合、

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial x} & 0 & \frac{\partial h_2}{\partial x} & 0 & \frac{\partial h_3}{\partial x} & 0 & \dots & \frac{\partial h_N}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial h_1}{\partial y} & 0 & \frac{\partial h_2}{\partial y} & 0 & \frac{\partial h_3}{\partial y} & \dots & 0 & \frac{\partial h_N}{\partial y} \\ \frac{\partial h_1}{\partial y} & \frac{\partial h_1}{\partial x} & \frac{\partial h_2}{\partial y} & \frac{\partial h_2}{\partial x} & \frac{\partial h_3}{\partial y} & \frac{\partial h_3}{\partial x} & \dots & \frac{\partial h_N}{\partial y} & \frac{\partial h_N}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (3-1-49)$$

となる。

なお、式(3-1-46)からは、 $\partial\Omega_u$ 境界上の自由度に対する式は落ちているものとする。

### 3.1.4 有効応力・相対変位を用いた運動方程式

式(3-1-3)に示す有効応力原理より、式(3-4-46)は有効応力を用いて以下のように書くことができる。

$$\int_{\Omega} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}' dv + \mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}} = \int_{\Omega} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}'_{st} dv + \int_{\Omega} \mathbf{B}^T \hat{\mathbf{m}}(p - p^{st}) dv + \mathbf{t}^* \quad (3-1-50)$$

ここで、

$$\hat{\mathbf{m}}^T = (1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0) \quad (3-1-51)$$

$$\boldsymbol{\sigma}'^T = (\sigma'_{xx} \quad \sigma'_{yy} \quad \sigma'_{zz} \quad \sigma'_{xy} \quad \sigma'_{yz} \quad \sigma'_{zx}) \quad (3-1-52)$$

$$(\boldsymbol{\sigma}'_{st})^T = (\sigma'_{xx}{}^{st} \quad \sigma'_{yy}{}^{st} \quad \sigma'_{zz}{}^{st} \quad \sigma'_{xy}{}^{st} \quad \sigma'_{yz}{}^{st} \quad \sigma'_{zx}{}^{st}) \quad (3-1-53)$$

ここで、間隙水圧を、節点における間隙水圧の値を用いて、以下のように離散化する。

$$p = \hat{\mathbf{H}} \mathbf{p} \quad (3-1-54)$$

ここで、補間関数 $\hat{\mathbf{H}}$ は以下のとおり。

$$\hat{\mathbf{H}} = [\hat{h}_1 \quad \hat{h}_2 \quad \hat{h}_3 \quad \dots \quad \hat{h}_N] \quad (3-1-55)$$

式(3-1-54)を式(3-1-50)に適用すると、運動方程式は、減衰項も考慮して次のようになる。

$$\int_{\Omega} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}' dv + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}} = \int_{\Omega} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}'_{st} dv + \mathbf{Q} \mathbf{p}^* + \mathbf{t}^* \quad (3-1-56)$$

ここで、 $\mathbf{C}$ は減衰マトリクス、また、

$$\mathbf{p}^* = \mathbf{p} - \mathbf{p}_{st} \quad (3-1-57)$$

$$\mathbf{Q} = \int_{\Omega} \mathbf{B}^T \hat{\mathbf{m}} \hat{\mathbf{H}} dv \quad (3-1-58)$$

である。

さらに、基盤に一様に入射する地震動加速度 $\ddot{u}_g$ に対する応答を求めるために、節点変位を基盤の変位とそれに対する相対変位に分離する。すなわち、

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_r + u_g \mathbf{I} \quad (3-1-59)$$

ここで、

$$\mathbf{u}_r \quad \text{相対変位ベクトル}$$

$u_g$  基盤の変位 (いずれかの座標軸の方向の変位)  
 $I$  加振方向の自由度成分に1, その他に0を割り当てたベクトル  
 式(3-1-59)を式(3-1-56)に代入すると, 次式を得る。

$$\int_{\Omega} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}' dv + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}}_r + \mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}}_r = -\ddot{u}_g \mathbf{M} \mathbf{I} + \int_{\Omega} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}'_{st} dv + \mathbf{Q} \underline{\mathbf{p}}^* + \mathbf{t}^* \quad (3-1-60)$$

なお,  $I$ は平行移動を表すベクトルであるから, 次式が成り立つ。

$$\mathbf{B} \mathbf{I} = \mathbf{0}, \quad \mathbf{C} \mathbf{I} = \mathbf{0} \quad (3-1-61)$$

ひずみベクトル $\boldsymbol{\varepsilon}$ は, 式(3-1-43) (3-1-59) (3-1-61)より,  $\mathbf{u}$ でも $\mathbf{u}_r$ でも同様に, 以下のよう  
 にして求められる。

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{B} \mathbf{u} = \mathbf{B} \mathbf{u}_r \quad (3-1-62)$$

有効応力ではなく全応力で取り扱うべき要素が他にあれば, 式(3-1-60)は次のようになる。

$$\int \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}' dv + \int \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} dv + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}}_r + \mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}}_r \quad (3-1-63)$$

$$= -\ddot{u}_g \mathbf{M} \mathbf{I} + \int_{\Omega_1} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}'_{st} dv + \int_{\Omega_2} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}_{st} dv + \mathbf{Q} \underline{\mathbf{p}}^* + \mathbf{t}^*$$

上式では, 全領域 $\Omega$ を, 有効応力により定式化される要素の存在する領域 $\Omega_1$ と, 全応力  
 に基づく要素の存在する領域 $\Omega_2$ に分離した。

さらに, 相対変位ベクトル $\mathbf{u}_r$ を, 非拘束自由度 $\mathbf{u}_r^f$ と拘束自由度 $\mathbf{u}_r^c$  ( $\partial\Omega_u$ 境界上の自由度)  
 に分け, また, 行列 $\mathbf{C}, \mathbf{M}$ もこれに応じて区分する。すなわち,

$$\underline{\mathbf{u}}_r = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_r^f \\ \mathbf{u}_r^c \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = [\mathbf{C}^f \quad \mathbf{C}^c], \quad \mathbf{M} = [\mathbf{M}^f \quad \mathbf{M}^c] \quad (3-1-64)$$

すると, 離散化された運動方程式(3-1-63)は, 以下のように書くことができる。

$$\int_{\Omega_1} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}' dv + \int_{\Omega_2} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} dv + \mathbf{C}^f \dot{\mathbf{u}}_r^f + \mathbf{M}^f \ddot{\mathbf{u}}_r^f \quad (3-1-65)$$

$$= -\ddot{u}_g \mathbf{M} \mathbf{I} - \mathbf{C}^c \dot{\mathbf{u}}_r^c - \mathbf{M}^c \ddot{\mathbf{u}}_r^c + \int_{\Omega_1} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}'_{st} dv + \int_{\Omega_2} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}_{st} dv + \mathbf{Q} \underline{\mathbf{p}}^* + \mathbf{t}^*$$

### 3.1.5 非排水の場合の運動方程式

間隙水が非排水条件にあると仮定した場合, 式(3-1-2)において $k_{ii} = 0$ とおくことによ  
 り, 次式を得る。

$$\dot{p} = -\frac{K_f}{n} \dot{\varepsilon}_{ii} \quad (3-1-66)$$

これを時間 $t$ に関して積分し, 式(3-1-9) (3-1-11)に示す初期条件を考慮すると,

$$p^* \equiv p - p^{st} = -\frac{K_f}{n} \varepsilon_{ii} \quad (3-1-67)$$

となる。上式を式(3-1-50)に代入すると、式(3-1-60)に代えて次式を得る。

$$\int_{\Omega} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}' dv + \hat{\mathbf{A}} \underline{\mathbf{u}}_r + \mathbf{C} \underline{\dot{\mathbf{u}}}_r + \mathbf{M} \underline{\ddot{\mathbf{u}}}_r = -\ddot{u}_g \mathbf{M} \mathbf{I} + \int_{\Omega} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}'_{st} dv + \mathbf{t}^* \quad (3-1-68)$$

ここで、

$$\hat{\mathbf{A}} = \int_{\Omega} \frac{K_f}{n} \mathbf{B}^T \hat{\mathbf{m}} \hat{\mathbf{m}}^T \mathbf{B} dv \quad (3-1-69)$$

あるいは、式(3-1-65)に対応して次式を得る。

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega_1} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}' dv + \int_{\Omega_2} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} dv + \hat{\mathbf{A}} \underline{\mathbf{u}}_r + \mathbf{C}^f \underline{\dot{\mathbf{u}}}_r^f + \mathbf{M}^f \underline{\ddot{\mathbf{u}}}_r^f \\ & = -\ddot{u}_g \mathbf{M} \mathbf{I} - \mathbf{C}^c \underline{\dot{\mathbf{u}}}_r^c - \mathbf{M}^c \underline{\ddot{\mathbf{u}}}_r^c + \int_{\Omega_1} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}'_{st} dv + \int_{\Omega_2} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}_{st} dv + \mathbf{t}^* \end{aligned} \quad (3-1-65)$$

### 3.2 構成則

FLIPでは、前述のとおり、せん断応力-せん断歪関係には、主応力軸の回転が自然に考慮される、東畑・石原(1985)によるマルチスプリング・モデルを採用し、過剰間隙水圧の発生モデルとしては、井合のモデルを採用している。

このマルチスプリング・モデルは、第3-1図に示すように任意方向のせん断面に対して仮想的な単純せん断が発生するものとし、これらのせん断面に対して双曲線モデルを適用するものである。FLIPでは、双曲線モデルにおけるMasing則を修正し、履歴ループの大きさを任意に調節可能なように拡張したモデルを使用している。このモデルの特徴は以下のとおりである。

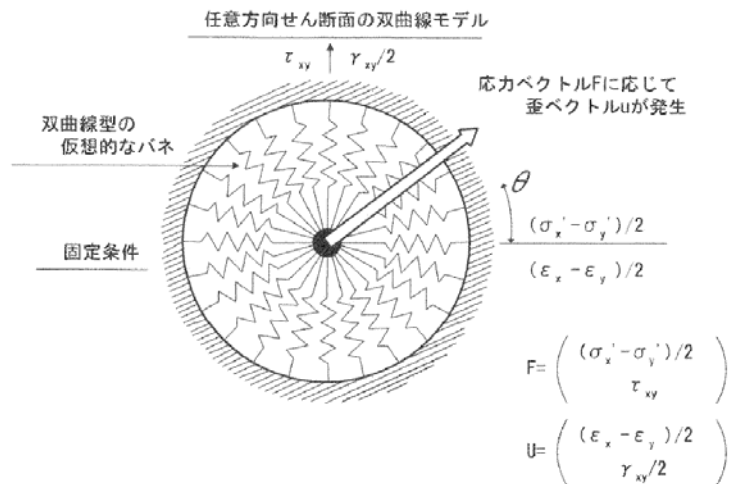
- (1) 排水条件におけるせん断応力-せん断歪の履歴ループ特性（いわゆる歪依存カーブ）は、既往の試験データとよく適合する。
- (2) 主応力の回転が自然に（つまり新たなパラメータを導入しなくても）考慮される。
- (3) 材料としての異方性が導入しやすい形となっている。

他方、過剰間隙水圧発生モデルでは、累積塑性せん断仕事に基づいて、液状化の進展に伴う過剰間隙水圧の上昇、有効応力の減少及びせん断剛性の低下等を、以下に示す手順で評価する。

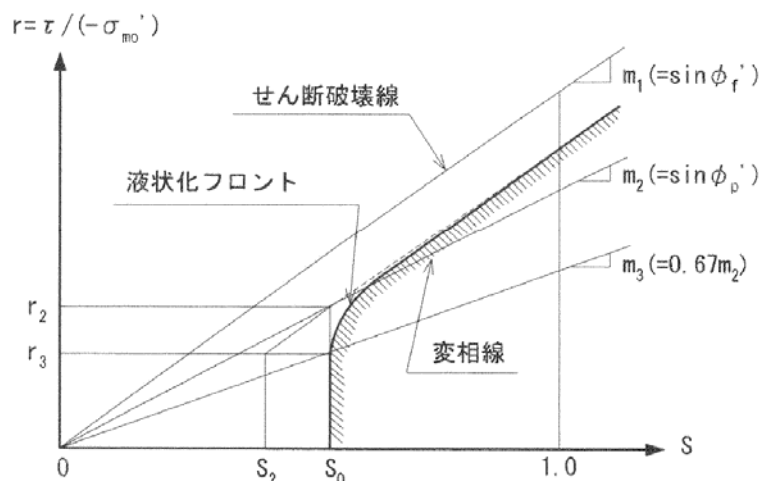
- ① 地震力の作用により土の各部分はせん断変形するが、その際の塑性せん断仕事を累積したものが液状化の進展の程度を表す指標になりうると考えられる。井合モデルでは、この累積塑性せん断仕事から、第 3-2 図に示す液状化の進展の程度を表す「液状化フロントパラメータ  $S_0$ 」を求める、 $S_0$ が定めれば、図中の液状化フロント(Liquefaction Front)が所定の式により与えられる。なお、第 3-2 図は等方圧密後に全拘束圧力一定の条件下で準静的に繰り返しせん断を行う液状化試験において得られる有効応力経路を模式的に描いたものであり、液状化フロントは液状化の進行のある局面における可能な応力経路を示す。
- ② 第 3-2 図に示すように、液状化フロントとせん断応力比 $r(= q/(-\sigma_{m0}'))$ から、前述の液状化試験の条件下においては $\sigma_{m'}/\sigma_{m0}'$ に一致する状態変数  $S$ (第 3-2 図の横軸の値)を求める。なお、せん断応力比  $r$  は、進行中の地震応答解析の現時刻における最大せん断応力  $q$  と地震応答解析開始時点の平均有効応力 $\sigma_{m0}'$ から算定する。液状化試験では $\sigma_{m0}'$ は等方圧密後の平均有効応力、 $\sigma_{m'}$ は試験中の任意の時点における平均有効応力を表す。
- ③ 前述の液状化試験の条件下で考えると、 $(1 - S) \sigma_{m0}'$ は過剰間隙水圧  $u$  に等しく、また、全体積の変化により定まる。一方、平均有効応力と体積弾性歪に関する構成則を導入すれば、平均有効応力 $\sigma_{m'}(= S\sigma_{m0}')$ に基づき体積弾性歪を算定することができる。したがって、過剰間隙水圧から算定される全体積歪から体積弾性歪を引くと体積塑性歪 $\epsilon_{mp}$ が得られる。この体積塑性歪は、上記液状化試験の条件下で得られるもので、2次元地震応答解析ではこの条件は成立しないが、その場合でも、この方法で見積もった体積塑性歪が

生じるものとする。

- ④ 前述の平均有効応力と体積弾性歪の関係に対して、③で求めた体積塑性歪 $\varepsilon_{mp}$ を考慮すれば、全体積歪と平均有効応力との間関係を得る。2次元の地震応答解析の際には、全体積歪は地盤要素の節点変位から直ちに計算することが可能で、これにより平均有効応力 $\sigma_m'$ を評価することができる。また、過剰間隙水圧比は $(1 - \sigma_m'/\sigma_{m0}')$ により算定する。なお、 $\sigma_{m0}'$ は地震応答解析開始時点の平均有効応力である。
- ⑤ 上記④で求めた有効応力 $\sigma_m'$ に応じてせん断強度及び初期せん断剛性を算定し直すのが普通であるが、FLIP では②で求めた状態変数 $S$ に応じてマルチスプリング・モデルのせん断強度等を直接低減させる。これによりマルチスプリング・モデルの各スプリングが従う双曲線モデルの骨格曲線は第3-3図に示すように変化する。

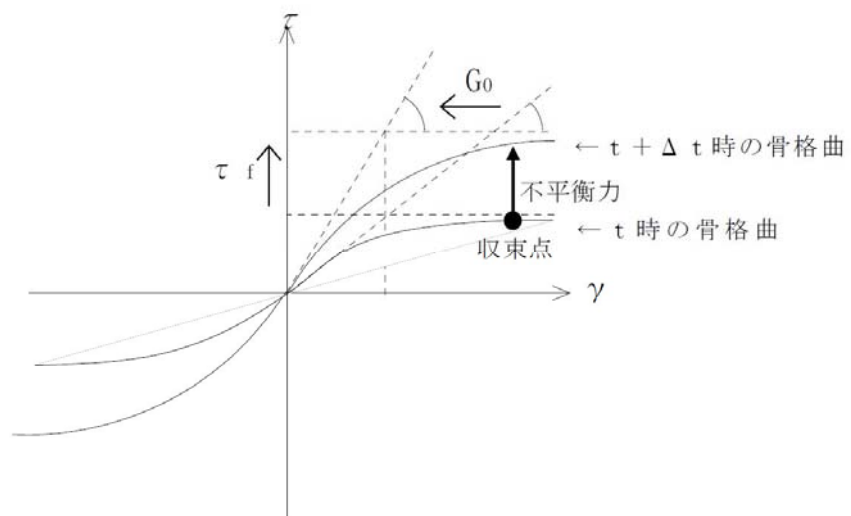


第3-1図 マルチスプリング・モデル



第3-2図 過剰間隙水圧モデルの概念図

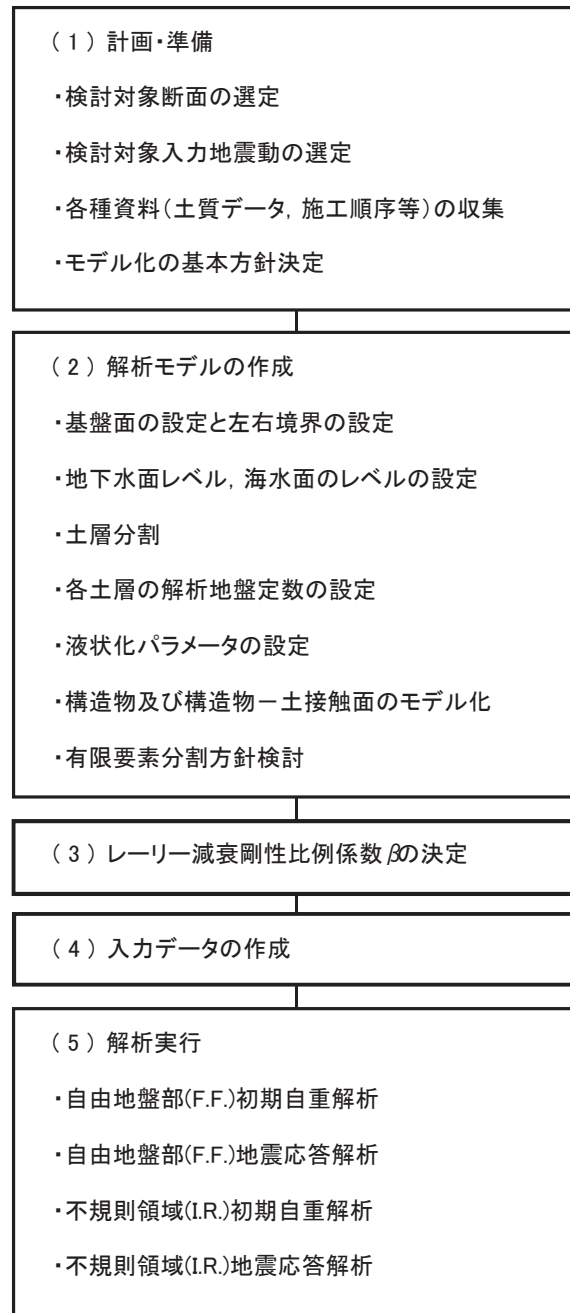




第3-3図 双曲線モデルの骨格曲線の液状化による変化 (模式図)

4. 解析フローチャート

解析フローチャートを第4-1図に示す。



第4-1図 解析フローチャート

5. FLIPの変更履歴

関西電力株式会社の「高浜原子力発電所第4号機」において、防潮堤、防潮扉、屋外排水路逆流防止設備、放水ピット止水板の地震応答解析に本コード（Ver. 7. 2. 3\_4）が使用された実績がある。一方、東海第二発電所ではFLIP Ver. 7. 3. 0\_2を使用する。そこで、FLIP Ver. 7. 2. 3\_4からFLIP Ver. 7. 3. 0\_2までの改訂履歴を第5-1表～第5-3表に示す。

第5-1表 FLIP Ver. 7. 2. 3版からFLIP Ver. 7. 2. 3\_5版への改訂内容

改訂項目	内容	実装版	東海第二での使用の有無
カクテルグラスモデル要素	①qusのデフォルト値を10000 (kPa) から0 (SUS法を使用しない)に変更した。	FLIP Ver. 7. 2. 3_3	無
非線形はり要素	①非線形はり要素 (IEL=16) に内蔵のトリリニアモデルのM～φ関係に軸力依存性を導入した。 ※現行方式では、M～φ関係の初期勾配が変わってしまうので、FLIP Ver. 7. 3. 0で改善予定。	FLIP Ver. 7. 2. 3_4	無
バグ対応	①FLIP Ver. 7. 2. 3に存在していた、多段階解析の際のジョイント要素の不具合を修正した。	FLIP Ver. 7. 2. 3_2	
	②マルチスプリング要素のIS12 (履歴減衰算定法選択SW) を1と設定した場合の、多重せん断バネの伸びの最大値算定ルーチンをFLIP Ver. 7. 2. 2相当へ戻した。(修正が不適切だったため)	FLIP Ver. 7. 2. 3_3	
	④非線形はり要素 (IEL=16) で、IAX=1～4の場合で、Ny+とNy-が異なる場合に、両者を取り違えていたバグに対応した。	FLIP Ver. 7. 2. 3_4	
	⑤非線形はり要素 (IEL=16) にて、H形鋼の弱軸回りの全塑性モーメントの軸力依存性を考慮する場合に (IAX=4)、全塑性モーメントが正しく算定されないというバグに対応した。	FLIP Ver. 7. 2. 3_5	

ここで、カクテルグラスモデル要素は不使用であるため、検証対象外である。非線形はり要素についても軸力依存型のトリリニアモデルは不使用であるため、検証対象外となる。

第5-2表 FLIP Ver. 7. 2. 3\_5版からFLIP Ver. 7. 3. 0版への改訂内容

改訂項目	内容	実装版	東海第二での 使用の有無
非線形はり要素	①非線形はり要素(IEL=16)に内蔵のトリリニアモデルのM~φ関係に軸力依存性を導入したが(FLIP Ver. 7. 2. 3_4), 導入した方式では, M~φ関係の初期勾配が変わってしまうため, 現行方式を改善した。	FLIP Ver. 7. 3. 0	無
非線形ばね要素	①非線形ばね要素(IEL=17)の軸方向バネの種類として, 杭先端ばね用双曲線モデルをFLIP Ver. 7. 1. 9-6-2_5に追加したが, これをFLIP Ver. 7. 3. 0に移植した。その際, 一旦引き抜かれて, 再度押し込まれた場合に, ばね力が再び発揮される位置を, 今までは, 最初に押し込みが始まった位置としていたが, 押し込み→引抜きの最後にばねが切れた位置を指定することも可能にした。	FLIP Ver. 7. 3. 0	無
杭-地盤相互作用ばね要素	①杭-地盤相互作用ばね要素(IEL=18)に, Ver. 7. 2. 3_4に実装されているジョイント要素の杭軸方向の特性と同様の非線形特性を有する「杭-地盤相互作用ばね」という名称の非線形バネを生成する機能をFLIP Ver. 7. 1. 9-6-2_4からFLIP Ver. 7. 3. 0に移植した。	FLIP Ver. 7. 1. 9 -6-2_4	有
出力関係	①各出力データに記載の時刻表示は, 長期間の圧密解析後の地震応答解析等に対応するため, F15. 4に変更した。 ②要素タイプごとに出力する諸量を見直した。これに伴い, 要素出力成分の成分番号が変更になっているものがある。時刻歴データ(#21, #24)における流体領域の動水圧時刻歴のタイプ番号が変更になっている。また, 要素履歴データ(#23, #25)のタイプ番号が一部変更になっている。 ③固有ベクトルファイルの機番を#35から#69へ変更した。	FLIP Ver. 7. 3. 0	

ここで, 非線形はり要素は前頁で示したように不使用であるため, 検証対象外である。非線形ばね要素については, 杭先端で使用しているものの, 使用しているのはユーザー定義のモデルであり, 双曲線モデルではないため, 検証対象外である。杭-地盤相互作用ばね要素については, 他プラントの既工事計画で使用していないため, 検証が必要となる。

第5-3表 FLIP Ver. 7. 3. 0版からFLIP Ver. 7. 3. 0\_2版への改訂内容

改訂項目	内容	実装版	東海第二での 使用の有無
非線形はり要素	①非線形はり要素で、IHT=4(トリリニア軸力依存)の場合に、軸力変動に応じたトリリニア曲線を追跡する処理に問題があったため、これを修正した。 ②非線形はり要素で、IHT=2(バイリニア)かつ $302 \leq IAX \leq 324$ の場合(Mp-N)ダイアグラムの解釈が正しく行われていなかったため、これを修正した。これは、FLIP Ver. 7. 3. 0を作成した際に生じたバグ。	FLIP Ver. 7. 3. 0_2	無
杭-地盤相互作用ばね要素	①FLIP Ver. 7. 3. 0で、マルチスプリング要素対応の杭-地盤相互作用ばね要素の処理方法を指定する「MODESW」の入力を廃止したが、内部的に残しておいた変数MODESWと新設したパラメータ(KILLJ)の記憶域が重複していたため、MODESWがKILLJの値により変化してしまっていた。そこでMODESWの記憶域を解放して、常に、MODESW=0になるよう改めた(従来からの相互作用バネの挙動)。なお、FLIP Ver. 7. 2. 3版では、MODESWは0か1の値を取り得たが、どちらにしても、応答にはほとんど差が無い。	FLIP Ver. 7. 3. 0_2	有
入力関係	①DIST命令で分布流入量を指定した場合に、それを節点流入量に変換する処理に誤りがあったものを修正した。	FLIP Ver. 7. 3. 0_2	/
出力関係	①間隙水要素(非排水条件)の過剰間隙水圧を応力ファイル(#36)に出力可能にした。ただし、間隙水要素としての出力で、従来のマルチスプリング要素に付随した出力とは異なる。	FLIP Ver. 7. 3. 0_2	/

ここで、非線形はり要素のIHT=4、IHT=2は不使用のため、検証対象外である。杭-地盤相互作用ばね要素の変更については、前頁と同様に検証を行う。ただし、FLIPコンソーシアムによれば応答にほとんど差が無いと示されている。

以上から、他プラントの既工事計画で使用していない検証を行うべき機能としては、杭-地盤相互作用バネの鉛直成分である杭-地盤間の摩擦を表現する非線形バネを生成する機能が対象となる。

## 6. 杭－地盤相互作用ばね

杭基礎構造物－地盤系の耐震解析を2次元一体解析として行うには、既往検討<sup>1)~6)</sup>で評価した、杭－地盤相互作用ばねの特性を持つばね要素（以下、杭－地盤相互作用ばね要素）により、杭モデルと2次元地盤モデルを接続する。まず、奥行き方向幅が杭間隔に等しい2次元地盤モデルと奥行き方向に等間隔に配置された杭群中の杭径Dの杭1本分のモデルを用意する。地盤要素にはマルチスプリング要素を適用し、杭は線形または非線形のばね要素でモデル化する。杭節点と対応する2次元地盤モデルの地盤節点の水平方向並進自由度を、第6-3図に示すように、杭－地盤相互作用ばね要素により接続する。

このような2次元一体解析のモデルにおいて、杭－地盤相互作用ばね要素は以下に示すように動作する。

- ① 杭の循環境界に対する相対変位  $u$  を算定する。なお、循環境界変位として、一体解析モデルを構成する地盤モデルの対応する節点変位を参照する。

- ② 相対変位  $u$  から、次式を用いて、対応するせん断ひずみ  $\gamma$  を評価する。

$$\gamma = u / (D \times \beta_p)$$

なお、 $\beta_p$ は、土質、不飽和・飽和などの土の状態、杭間隔、荷重レベル（荷重片振幅／破綻荷重＝せん断応力片振幅／初期せん断強度）及び液状化フロントパラメータ $S_0$ に応じて、第6-1図から定める。

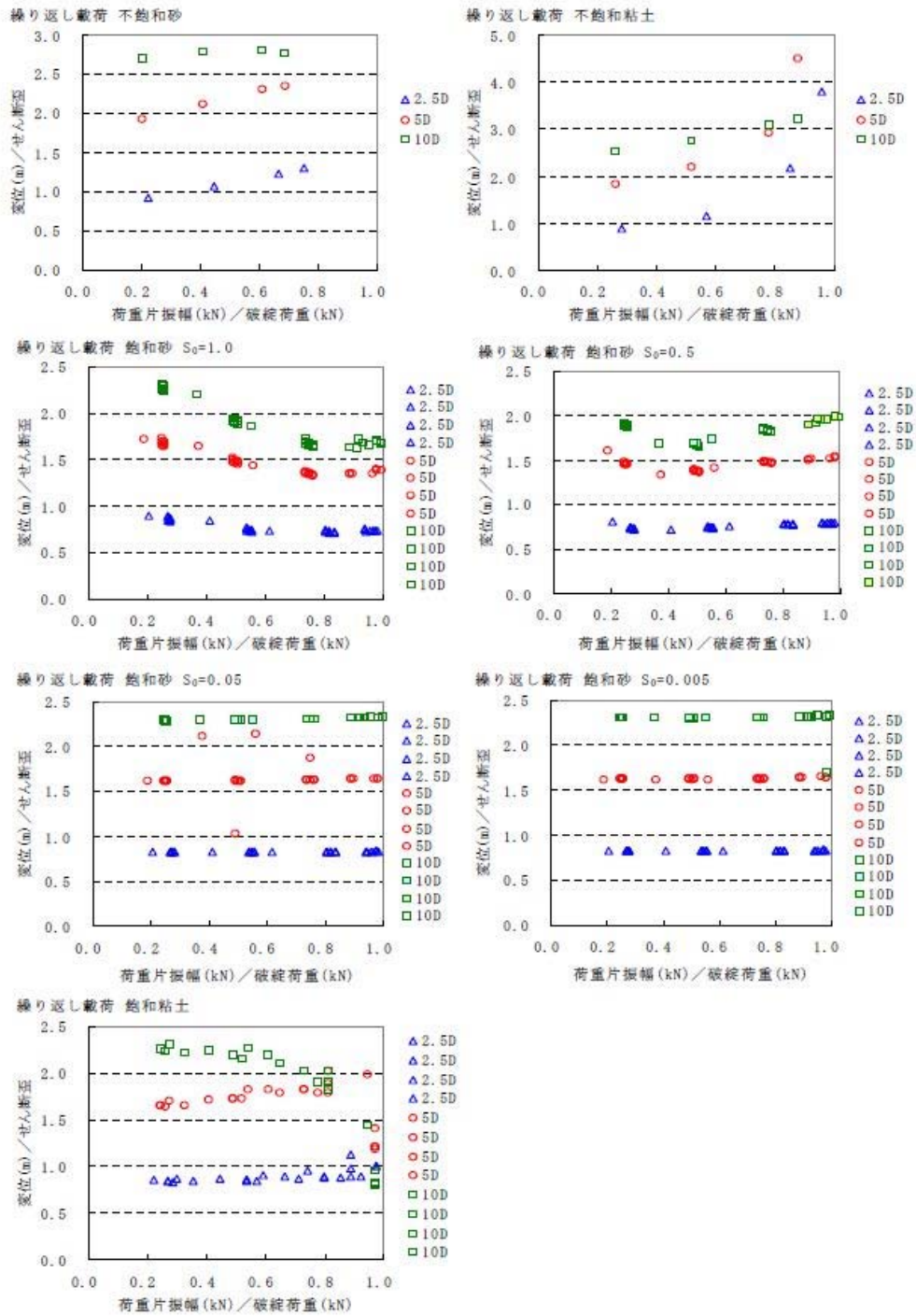
- ③ 杭近傍の土要素を参照して、その変形特性を決めるパラメータと土の状態（主に、有効拘束圧と液状化フロントパラメータ  $S_0$ ）に基づいて、砂の構成則と同様のせん断応力－せん断ひずみ関係を設定し、せん断ひずみ  $\gamma$  を与えてせん断応力  $\tau$  を算定する。

- ④ せん断応力  $\tau$  から、次式を用いて、ばね力  $F$  を評価する。

$$F = (L \times D \times \alpha_p) \times \tau$$

なお、 $\alpha_p$ は応力－荷重変換係数で、杭間隔と単調載荷時の（破綻荷重／初期せん断強度  $\tau_{m0}$ ）の分布（第6-2図）より定まる11.5～12.6の範囲の値である。

上記②において、液状化を考慮する場合に、ひずみ－変位変換係数  $\beta_p$ の値を決めるには、近傍土要素の液状化フロントパラメータ $S_0$ の値を参照する必要がある。ある $S_0$ の値に対しては、 $\beta_p$ は概ね一定値を取るため、定数とするか、過去に経験した最大の荷重レベルを適用することが考えられる。第6-4図は、杭間隔5Dの場合の飽和砂（ $N_{65}=10$ 、 $\sigma_{m0'}=98\text{kPa}$ 、 $S_0=1.0, 0.5, 0.05, 0.005$ ）を対象とした水平断面モデルによる繰り返し載荷解析で得られた荷重片振幅－最大相対変位関係と過剰間隙水圧モデルに基づいて設定したせん断応力  $\tau$ －せん断ひずみ  $\gamma$  関係から設定した荷重－変位関係を比較したものである。過剰間隙水圧モデルに基づき設定した関係では、荷重＝ $12.6 \times \tau$ 、変位＝ $1.5 \times \gamma$ （ $S_0=1.0, 0.5$ ）、または、変位＝ $1.63 \times \gamma$ （ $S_0=0.05, 0.005$ ）とした。ひずみ－変位変換係数  $\beta_p$ は荷重レベルに依存して変化する量だが、このように、荷重レベルによらない定数と置いて、全体系の解析結果をよく説明するので、このような取扱いでもよい。

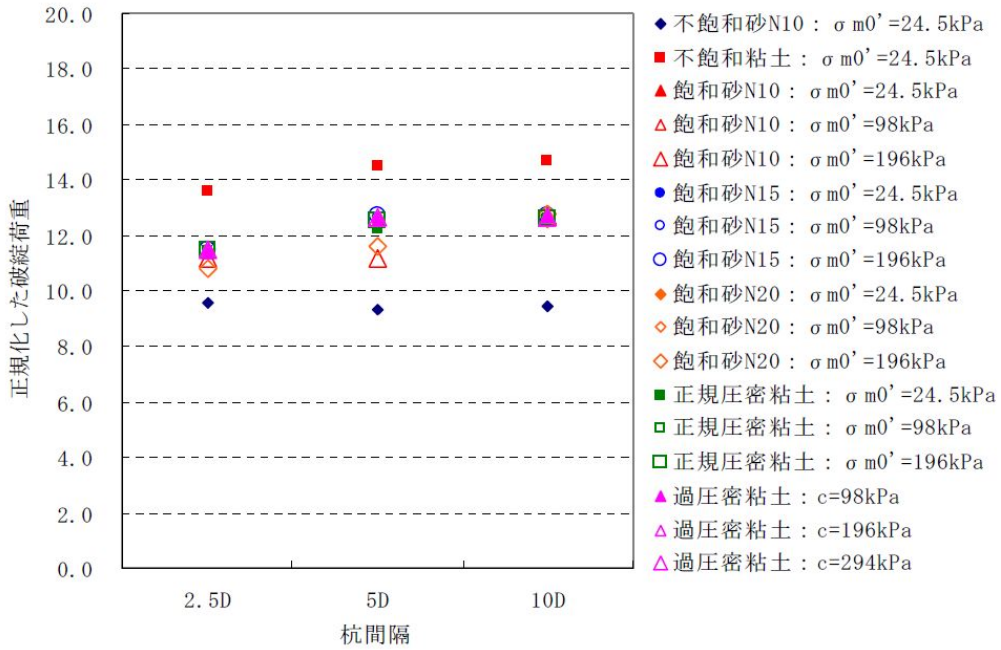


第 6-1 図 循環境界基準の相対変位振幅と要素シミュレーションのせん断ひずみ振幅の比を  
求めるためのチャート

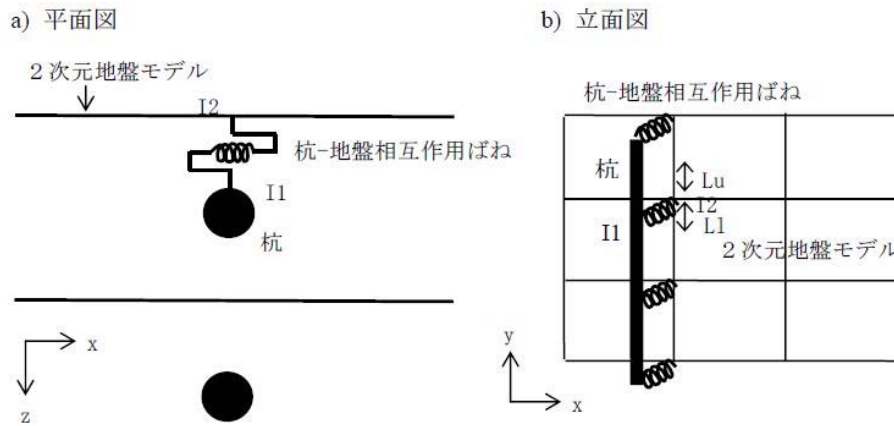
※ 破綻荷重で正規化した荷重片振幅と杭間隔の関数として表示。

なお、破綻荷重=12.6 (2.5Dの場合は11.5) ×  $\tau_{m0}$

単調載荷 全17ケース×杭間隔3ケース 破綻荷重／初期せん断強度  $\tau_{m0}$



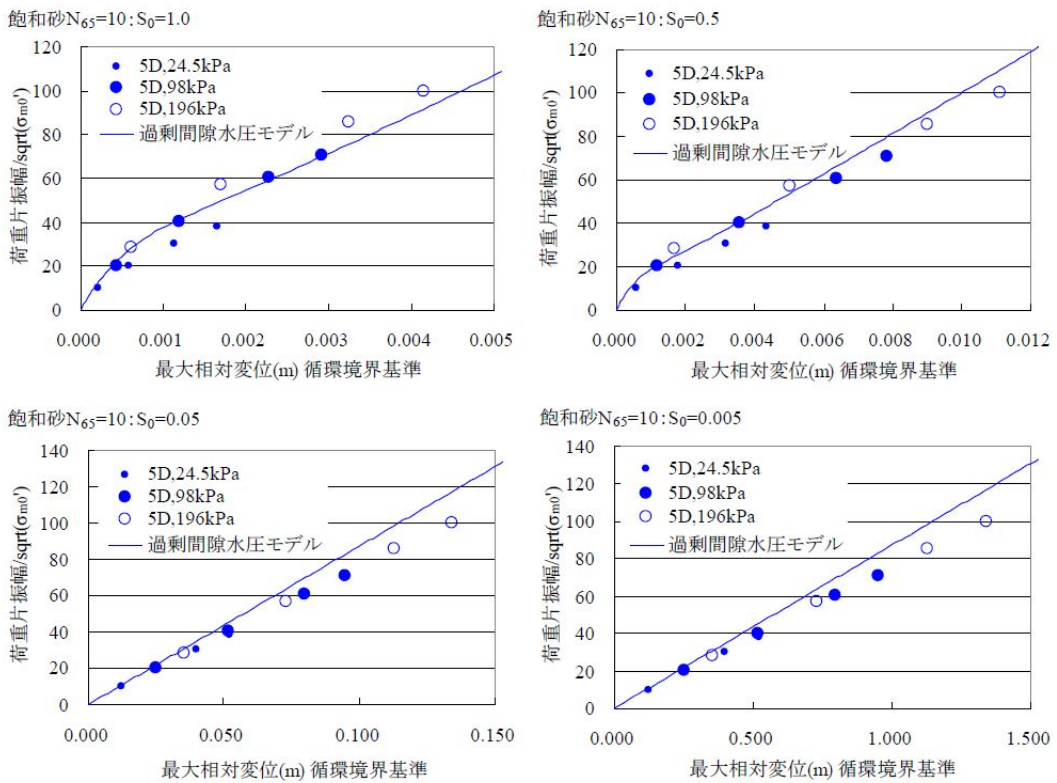
第 6-2 図 単調載荷時の (破綻荷重／初期せん断強度  $\tau_{m0}$ ) の分布



第 6-3 図 杭-地盤相互作用ばねによる 2 次元一体解析の杭モデルと地盤モデルの連結方法 (模式図)

※I1は杭-地盤相互作用ばね要素の杭側節点, I2は地盤側節点, Luはばねの上側配長 (隣接する上側のばねまでの半分の長さ), L1はばねの下側支配長を表す。





第 6-4 図 飽和砂 (5D,  $N_{65}=10$ ,  $\sigma_{m0}=98\text{kPa}$ ,  $S_0=1.0, 0.5, 0.05, 0.005$ ) :  
荷重片振幅－最大相対変位の関係と過剰間隙水圧モデル他にに基づいて求めた関係の比較

- ※1 過剰間隙水圧モデルによる曲線は、 $\tau$  と  $S_0$  からせん断強度  $\tau_f$  と初期せん断剛性  $G_0$  を求めて、双曲線関係に基づくせん断応力  $\tau$ －せん断ひずみ  $\gamma$  関係を設定し、それを荷重－変位関係に置き換えたもの。  
置き換えは、荷重= $12.6 \times \tau$ 、変位= $1.5$  (または  $1.63$ )  $\times \gamma$  とした。
- ※2 全体系で解いた解が、大きな荷重では、過剰間隙水圧モデルによる曲線の下側に来るのは、荷重ステップ間隔の増大による精度低下によるものと思われる。また、変位－ひずみ変換係数は、荷重片振幅に依存する量だが、このように定数と置いても、全体系の解析結果をよく説明する。

<6. 杭-地盤相互作用バネの参考文献>

- 1) 三輪滋, 小堤治, 溜幸生, 岡由剛, 一井康二, 井合進, 田河祥一: 2次元水平断面モデルを用いた液状化地盤における杭-地盤系の相互作用の検討, 第38回地盤工学研究発表会, 2003.
- 2) 森田年一, 井合進, Hanlong Liu, 一井康二, 佐藤幸博: 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタ簡易設定法, 港湾技研資料, No. 869, 1997.
- 3) Towhata, I. and Ishihara, K.: Modelling Soil Behavior under Principal Stress Axes Rotation, Proc. of 5th International Conf. on Num. Methods in Geomechanics, Nagoya, Vol. 1, pp. 523-530, 1985.
- 4) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Report of Port and Harbour Research Institute, Vol. 29, No. 4, pp. 27-56, 1990.
- 5) 小堤治, 溜幸生, 岡由剛, 一井康二, 井合進, 梅木康之: 2次元有効応力解析における杭と液状化地盤の相互作用のモデル化, 第38回地盤工学研究発表会, 2003.
- 6) 小堤治, 溜幸生, 岡由剛, 井合進, 梅木康之: 2次元有効応力解析における杭と液状化地盤の動的相互作用のモデル化, 第58回土木学会年次学術講演会, 2003.

## 7. 有効応力解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認

### 7.1 概要

東海第二発電所の有効応力解析にはFLIP Ver. 7.3.0\_2を用いる。他プラントの既工事計画で使用されたバージョン (Ver. 7.2.3\_4) との主な変更点は、杭-地盤相互作用ばね要素の導入である。そこで、FLIP Ver. 7.3.0\_2とVer. 7.2.3\_4を用いて、杭-地盤相互作用ばね要素の検証及び妥当性確認を行った。

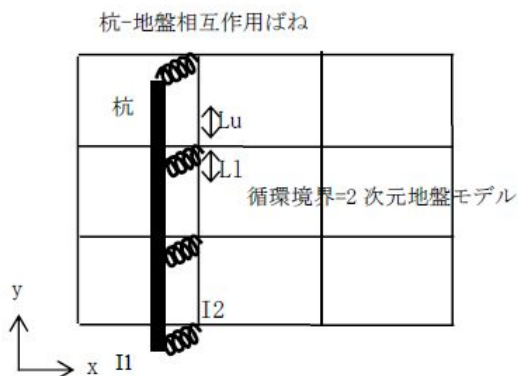
### 7.2 杭と周辺地盤との相互作用

杭と周辺地盤との相互作用として、Ver. 7.3.0\_2では杭-地盤相互作用ばね要素を用いる。また、Ver. 7.2.3\_4ではジョイント要素を用いるものとする。両者の設定方法を以下に述べる。

#### a) 杭-地盤相互作用ばね要素の支配長

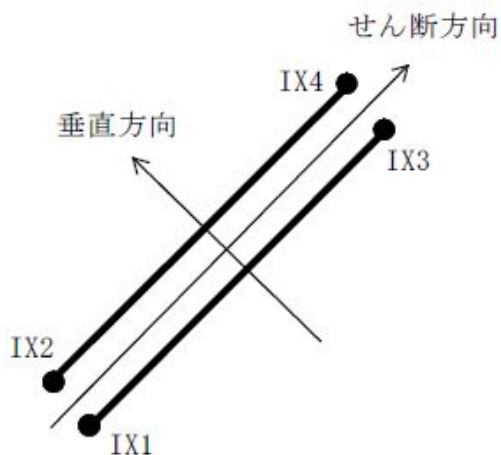
杭-地盤相互作用ばね要素は、その上側支配長 $L_u$ と下側支配長 $L_1$ を自動的に決定する。I1節点（杭側節点）に接続するはり要素を上方に辿り、次の杭-地盤相互作用ばね要素が接続する節点までの距離の半分を上側支配長 $L_u$ とする。そのような節点がない場合は $L_u=0$ とする。同様に、下側支配長 $L_1$ も算定する。

鉛直断面



#### b) ジョイント要素の配置

ジョイント要素は、土（マルチスプリング要素等またはマルチスプリング要素等+間隙水要素）と矢板（線形はり要素）やケーソン（線形平面要素）等の構造物の接触面上（節点間）に置いて、その間の滑り・剥離を表現するのに用いる。



### 7.3 解析結果

比較対象：鋼管杭鉄筋コンクリート防潮堤

Ver. 7.3.0\_2の杭軸方向の杭－地盤相互作用ばね要素とVer. 7.2.3\_4の杭軸方向のジョイント要素は、名称は異なるものの実質の構成式としては同じである。また、杭軸直角方向についてはVer. 7.3.0\_2とVer. 7.2.3\_4で杭軸直交方向の杭－地盤相互作用ばねは名称も構成式も同じである。

Ver. 7.3.0\_2とVer. 7.2.3\_4により加速度の解析結果の比較を行い、解析結果が同等であることを確認した。Ver. 7.3.0\_2では杭－地盤相互作用ばね要素、Ver. 7.2.3\_4ではVer. 7.3.0\_2の杭－地盤相互作用ばね要素に相当するVer. 7.2.3\_4の杭軸方向のジョイント要素を用いた。

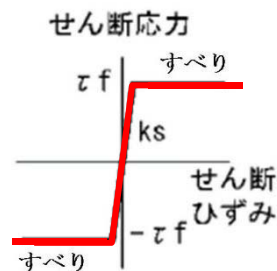
Ver. 7.3.0\_2での杭軸方向の杭－地盤相互作用ばねのばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きな値として、第7-1表のとおり設定した。また、第7-1図に杭－地盤相互作用ばねの力学的特性を示す。Ver. 7.2.3\_4で設定したVer. 7.3.0\_2の杭軸方向の杭－地盤相互作用ばね要素に相当するVer. 7.2.3\_4の杭軸方向のジョイント要素の力学的特性も第7-1表のとおり設定した。

第7-2図に加速度の出力節点の位置図を示す。水平方向加速度の比較を第7-3図に、鉛直方向加速度の比較結果を第7-4図に示す。

杭軸方向については、Ver. 7.3.0\_2では杭軸方向の杭－地盤相互作用ばね要素、Ver. 7.2.3\_4では杭軸方向のジョイント要素を用い、杭軸直交方向については、Ver. 7.3.0\_2及びVer. 7.2.3\_4において同じ杭－地盤相互作用ばねを使用して加速度の解析結果を比較した。その結果、第7-3図及び第7-4図に示す通り解析結果が一致している。ゆえにVer. 7.3.0\_2及びVer. 7.2.3\_4において、杭軸方向及び杭軸直交方向の杭と地盤の相互作用に関する解析は同等の解析結果を与えるものであり、杭と地盤の相互作用の処理について両バージョンによる実質的な差異はない。

第7-1表 杭－地盤相互作用ばねのばね定数

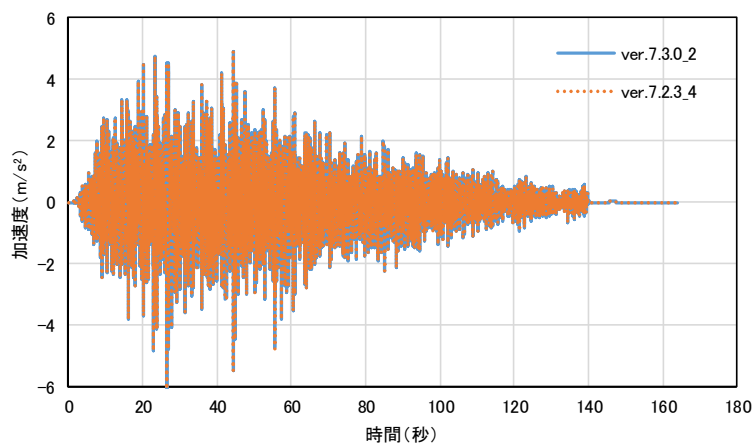
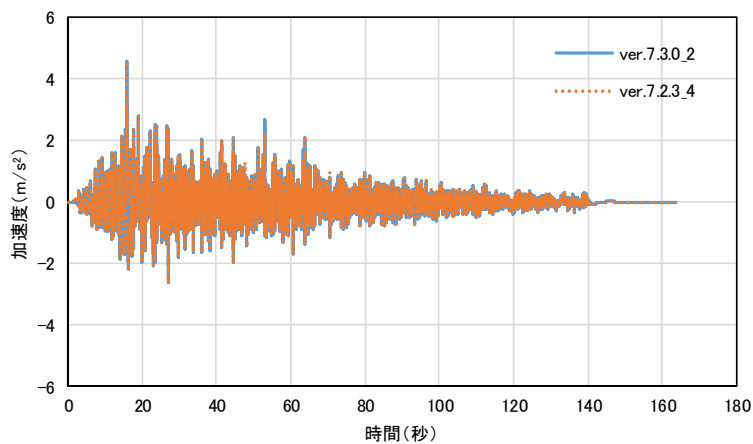
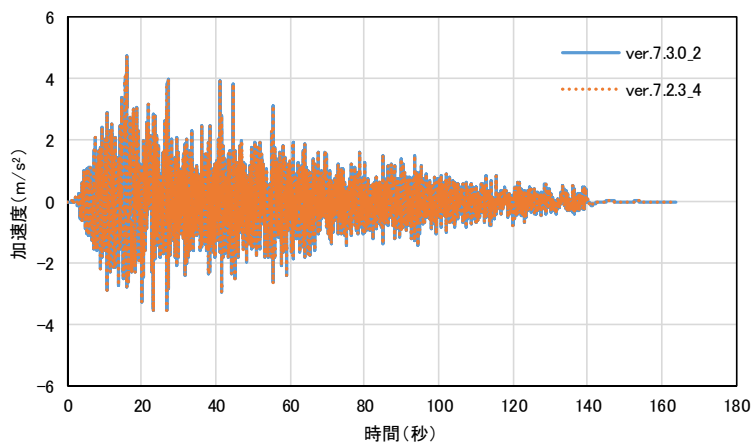
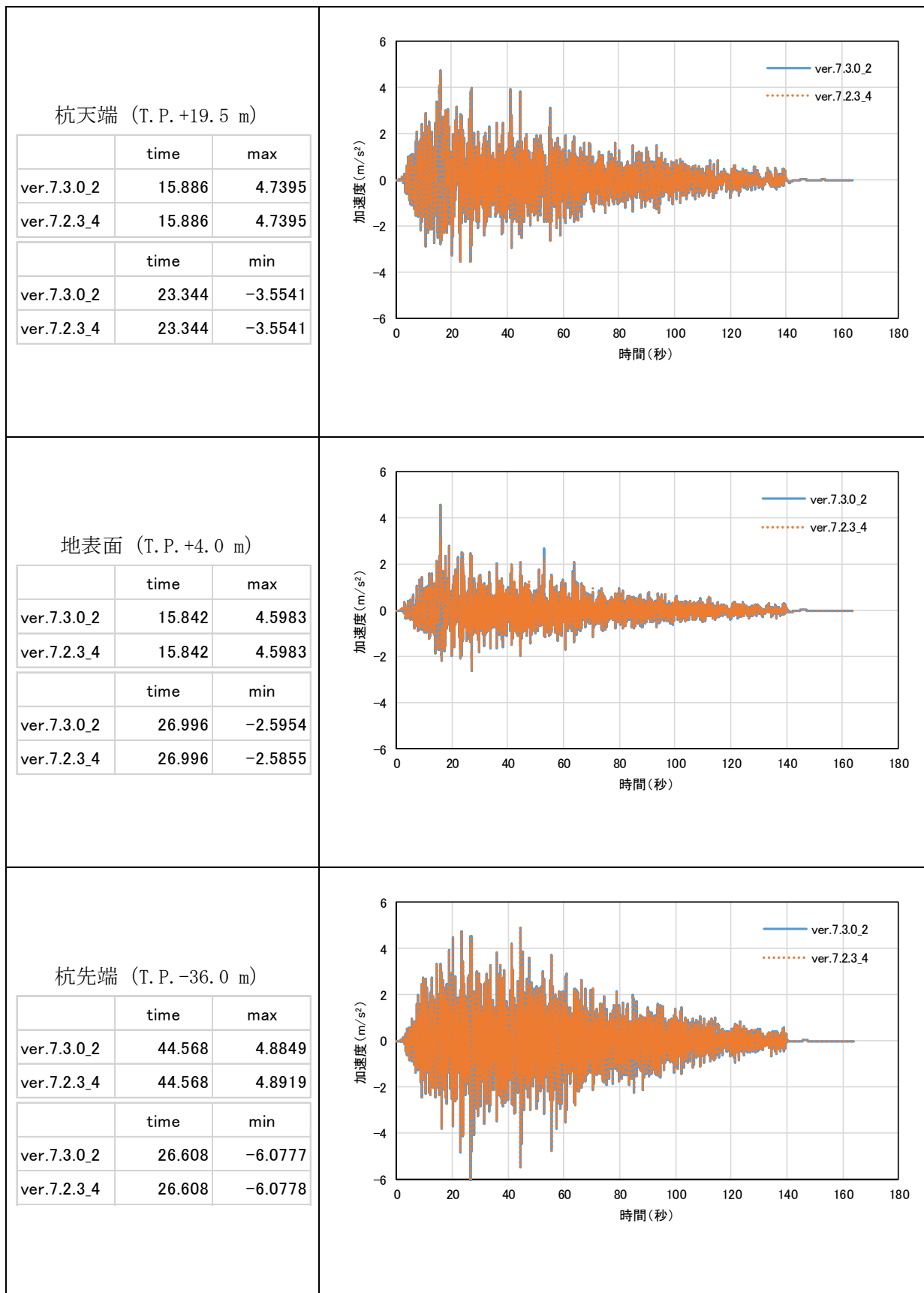
	せん断剛性 $k_s$ ( $\text{kN/m}^3$ )
杭軸方向	$1.0 \times 10^6$



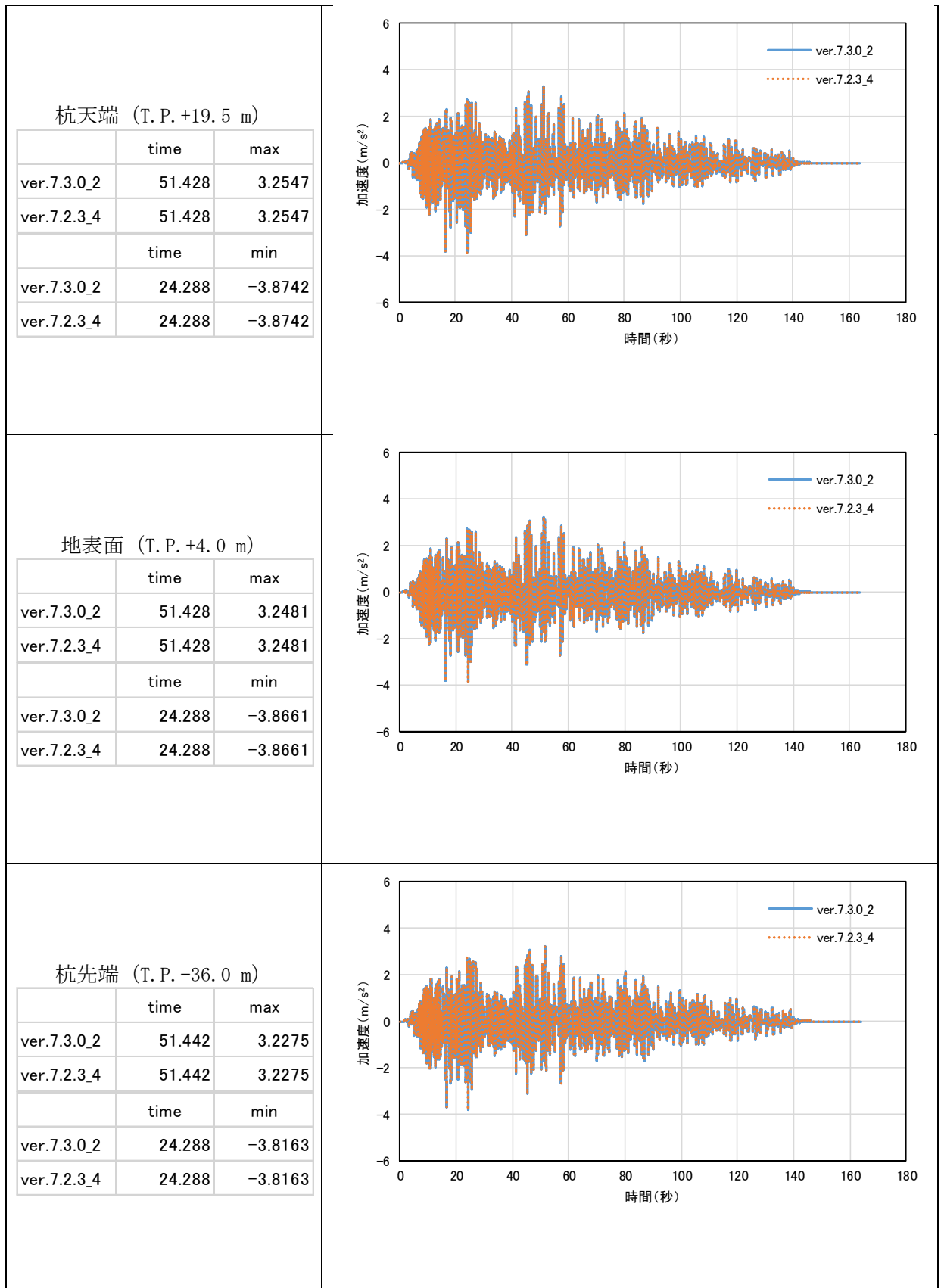
第7-1図 杭－地盤相互作用ばね（杭軸方向）の力学的特性



第 7-2 図 出力節点の位置図



第 7-3 図 水平方向加速度 (m/s<sup>2</sup>)



第 7-4 図 鉛直方向加速度 (m/s<sup>2</sup>)





東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-669 改3
提出年月日	平成30年9月20日

V-5-20 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ m i c r o S H A K E / 3 D

## 目次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
2.1 microSHAKE/3D Ver. 2.2	3
2.2 microSHAKE/3D Ver. 2.2.3.311	5

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）microSHAKE/3Dについて説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-4	使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver. 2. 2
V-2-2-22-1	常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書	Ver. 2. 2. 3. 311
V-2-2-22-2	常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の地震応答計算書	Ver. 2. 2. 3. 311
V-2-2-22-3	常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の地震応答計算書	Ver. 2. 2. 3. 311
V-2-2-22-4	常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の地震応答計算書	Ver. 2. 2. 3. 311
V-2-2-23-1	常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の耐震性についての計算書	Ver. 2. 2. 3. 311
V-2-2-23-2	常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の耐震性についての計算書	Ver. 2. 2. 3. 311
V-2-2-23-3	常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の耐震性についての計算書	Ver. 2. 2. 3. 311
V-2-2-23-4	常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の耐震性についての計算書	Ver. 2. 2. 3. 311

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 microSHAKE/3D Ver. 2.2 (※建物・構築物関連)

項目	コード名 microSHAKE/3D
使用目的	入力地震動の策定
開発機関	株式会社地震工学研究所
開発時期	2011年
使用したバージョン	Ver. 2.2
コードの概要	<p>microSHAKE/3D (1次元波動伝播解析コード) は、重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行うことが可能であり、地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮することができる。</p> <p>microSHAKE/3Dの主な特徴として、以下の①～③を挙げることができる。</p> <p>① 1次元重複反射理論に基づくプログラムである。</p> <p>② 地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮できる。</p> <p>③ 鉛直動は、S波速度<math>V_s</math>をP波速度<math>V_p</math>として定義することで対応が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>microSHAKE/3Dは、使用済燃料乾式貯蔵建屋の水平方向及び鉛直方向の地震応答解析における入力地震動の策定において、基準地震動<math>S_s</math>及び弾性設計用地震動<math>S_d</math>に対する自由地盤の応答を評価するために使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ microSHAKE/3Dについて、二層のモデル地盤において地震応答解析を行った解析解と、1次元重複反射理論に基づく理論解が一致することを確認している。</li> <li>・ 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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 検証の内容のとおり、地盤の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。</li> <li>・ 関西電力大飯発電所第3号機第2回工事計画認可申請書の資料13別添4(可搬型重大事故等対処設備の耐震設計書のうち屋外保管設備)</li> </ul>

	<p>にコード (Ver. 2.0.1.179) が使用された実績がある。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・今回の工認申請において使用するバージョンは、既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。</li><li>・本工事計画における構造に対し使用する要素、応力解析及び応答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。</li></ul>
--	---

2.2 microSHAKE/3D Ver. 2.2.3.311

項目	コード名 microSHAKE/3D
使用目的	地震応答解析（入力地震動算定）
開発機関	株式会社地震工学研究所
開発時期	2011年
使用したバージョン	Ver. 2.2.3.311
コードの概要	<p>microSHAKE/3D（1次元波動伝播解析コード）は、重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行うことが可能であり、地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮することができる。</p> <p>microSHAKE/3Dの主な特徴として、以下の①～③を挙げることができる。</p> <p>① 1次元重複反射理論に基づくプログラムである。</p> <p>② 地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮できる。</p> <p>③ 鉛直動は、S波速度<math>V_s</math>をP波速度<math>V_p</math>として定義することで対応が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>microSHAKE/3D Ver. 2.2.3.311は、常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備並びに常設代替高圧電源装置用カルバートの地震応答計算書及び耐震計算書における入力地震動の算定に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></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"> <li>・microSHAKE/3Dについて、二層のモデル地盤において地震応答解析を行った解析解と、1次元重複反射理論に基づく理論解が一致することを確認した。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子力産業界において、原子力発電所の土木構造物評価をはじめとする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。</li> <li>・関西電力株式会社の「大飯原子力発電所第3号機」において、可搬型重大事故等対処設備の耐震設計書のうち屋外保管設備に本コード（Ver. 2.0.1.179）が使用された実績がある。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>・今回の工認申請において使用するバージョンは、既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。</li><li>・本工事計画における地震応答解析を実施する際の入力地震動算定の使用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。</li></ul>
--	---



東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-670 改2
提出年月日	平成30年9月20日

V-5-25 計算機プログラム（解析コード）の概要・k-SHAKE

## 目次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	4

## 1. はじめに

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

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-1-1-6-別添1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 6.2.0
V-2-2-6	取水構造物の地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-7	取水構造物の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-8	屋外二重管の地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-9	屋外二重管の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-12	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-13	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-20	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-21	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-24	可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-25	可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-26	常設低圧代替注水系ポンプ室の地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-27	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-28	代替淡水貯槽の地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-29	代替淡水貯槽の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-30	常設低圧代替注水系配管カルバートの地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-31	常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-32	S A用海水ピットの地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-33	S A用海水ピットの耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-34	緊急用海水ポンプピットの地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-35	緊急用海水ポンプピットの耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-36	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-37	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-38-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の地震応答計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-38-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の地震応答計算書	Ver. 6.2.0

V-2-2-39-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-2-39-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-10-2-2-2	防潮扉の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-10-2-4	構内排水路逆流防止設備の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-10-4-2	SA用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-10-4-3	海水引込み管の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-10-4-4-1	貯留堰の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-10-4-4-2	貯留堰取付護岸の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-10-4-5	緊急用海水取水管の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-11-2-16	土留鋼管矢板の耐震性についての計算書	Ver. 6.2.0
V-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管場所等における入力地震動	Ver. 6.2.0
V-3-別添3-2-1-1	防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書	Ver. 6.2.0
V-3-別添3-2-1-2-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の強度計算書	Ver. 6.2.0
V-3-別添3-2-1-2-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の強度計算書	Ver. 6.2.0
V-3-別添3-2-1-3	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の強度計算書	Ver. 6.2.0
V-3-別添3-2-1-4	防潮扉の強度計算書	Ver. 6.2.0
V-3-別添3-2-3	構内排水路逆流防止設備の強度計算書	Ver. 6.2.0
V-3-別添3-2-9	貯留堰の強度計算書	Ver. 6.2.0

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 k-SHAKE
使用目的	地震応答解析（入力地震動の算定）
開発機関	株式会社構造計画研究所
開発時期	1997年
使用したバージョン	Ver. 6.2.0
コードの概要	<p>k-SHAKE（1次元波動伝播解析コード）は、重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行うことが可能な解析コードであり、地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮することができる。</p> <p>k-SHAKEの主な特徴のうち、今回の使用目的に対して、以下の①～③を挙げることができる。</p> <p>（主な特徴）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 1次元重複反射理論に基づくプログラムである。</li> <li>② 地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮する。</li> <li>③ 鉛直動は、S波速度<math>V_s</math>をP波速度<math>V_p</math>として定義することで対応する。</li> </ul>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></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"> <li>・本解析コードによる二層のモデル地盤に対する地震応答解析結果と、1次元重複反射理論に基づく理論解が一致していることを確認している。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子力産業界において、原子力発電所の地盤・斜面評価をはじめとする多数の解析に本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。</li> <li>・関西電力株式会社の「大飯原子力発電所第3号機」において、海水ポンプ室周辺地盤かさ上げ部の地震応答解析（入力地震動算定）に本コード（Ver. 5.0）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画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異なるが、バージョンの変更において、本解析の使用範囲の結果に影響の無いことを確認している。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>・本工事計画における地震応答解析を実施する際の入力地震動算定の使用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。</li></ul>
--	---





東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-231 改4
提出年月日	平成30年9月20日

V-5-39 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ E n g i n e e r ' s S t u d i o

## 目次

1.	はじめに	1
1.1	使用状況一覧	2
2.	解析コードの概要（土木分）	3
3.	Engineer's Studio の解析手法について	4
3.1	一般事項	4
3.2	解析コードの特徴	4
3.3	解析手法	4
3.4	解析フローチャート	10
3.5	検証(Verification)と妥当性(Validation)	11
4.	解析コードの概要（竜巻分）	21
5.	Engineer's Studio の解析手法について	22
5.1	一般事項	22
5.2	解析コードの特徴	22
5.3	解析手法	22
5.4	解析フロー	25
5.5	検証(Verification)と妥当性(Validation)	27

## 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）Engineer's Studioについて説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-7	取水構造物の耐震性についての計算書	Ver. 6.00.04
V-2-2-33	S A用海水ピットの耐震性についての計算書	Ver. 6.00.04
V-2-10-4-2	S A用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書	Ver. 6.00.04
V-2-10-4-3	海水引込み管の耐震性についての計算書	Ver. 6.00.04
V-2-10-4-5	緊急用海水取水管の耐震性についての計算書	Ver. 6.00.04
V-2-11-2-10	海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性についての計算書	Ver. 6.00.04
V-3-別添1-1-10-1	建屋及び構造物の強度計算書	Ver. 6.00.04
V-3-別添3-2-1-1	防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書	Ver. 6.00.04
V-3-別添3-2-1-2-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の強度計算書	Ver. 6.00.04

## 2. 解析コードの概要（土木分）

項目 \ コード名	Engineer's Studio
使用目的	3次元有限要素法による静的解析
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	2009年
使用したバージョン	Ver. 6.00.04
コードの概要	<p>Engineer's Studioは、3次元有限要素法（FEM）解析を行う解析コードである。主な特徴は下記のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・土木建築構造物の部材を、1本の棒に見立てたはり要素や平面的に連続した平板要素でモデル化して構造物の応答解析を行い、断面力及び変位の算出を行う。</li> <li>・地盤の非線形性は、非線形バネ要素でモデル化することにより考慮する。</li> </ul>
検証（Verification）及び 妥当性確認（Validation）	<p>本コードは、はり及び平板要素並びに非線形地盤バネを用いた静的解析による断面力及び変位の算定に使用されている。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b> 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"> <li>・本解析コードによる単純梁、単純平板モデルに対する解析結果と理論解が一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードによる非線形地盤バネの履歴が想定している骨格曲線と一致していることを確認している。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 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"> <li>・検証内容のとおり、梁モデル、平板モデル、地盤バネ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。</li> </ul>

### 3. Engineer's Studioの解析手法について

#### 3.1 一般事項

Engineer's Studioは土木・建築構造物の部位を1本の棒に見立てた梁要素や平面的に連続した平板要素でモデル化して、構造物の非線形挙動を解析できる3次元有限要素法（FEM）解析プログラムである。Engineer's Studioは、防潮堤躯体及び連続壁基礎の梁、板及び非線形地盤バネモデルを用いた静的解析による断面力及び変位の算定に使用している。

#### 3.2 解析コードの特徴

Engineer's Studioの主な特徴を以下に示す。

- ・構造物を1本棒に見立てたはり要素や平面的に連続した平板要素でモデル化して、構造物の応答解析を行い、断面力及び変位の算出が可能である。
- ・地盤の非線形性は、バネ要素でモデル化することにより考慮することが可能である。

#### 3.3 解析手法

##### (1) 弾性梁要素

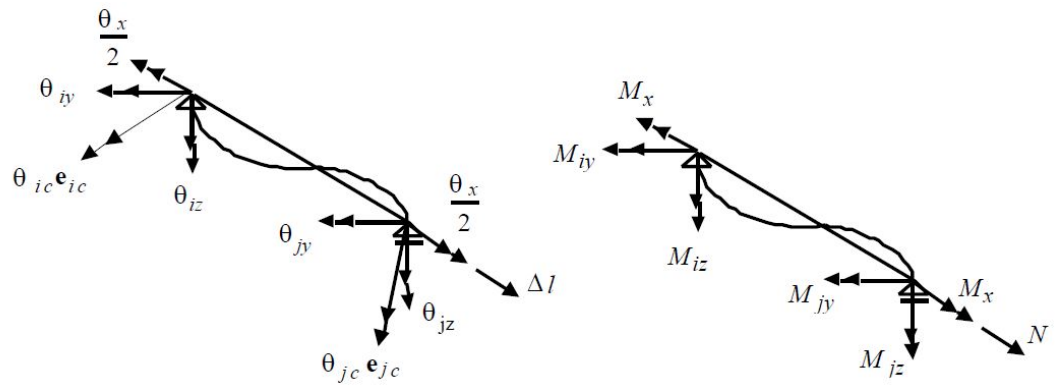
弾性梁要素は2節点を直線で結ぶ要素であり、軸方向の伸縮変形と2節点の回転変位を含む相対変位によって生じる曲げと捻れ変形に対して弾性の復元力を持つ要素である。

2節点要素であるから、3次元空間内にある要素両端自由度は12であり、要素の剛体としての変位を拘束する自由度は6個必要であるから、差し引き6個の自由度が要素の弾性変形を表す要素端変形となる。この要素端変形と仕事の対をなす力が要素端力である。言い換えれば、要素端に働く3つの力の内、6個は要素変形を生じさせ、6個は要素を支持する支点反力を意味する。この静定な支点条件要素座標系の設定によって、要素端力と要素端変形が確定する。

要素座標系として単純支持あるいは片持ち支持など考えることができる。本解析では要素座標系内における幾何学的非線形を考慮しないため、非線形解析では要素内の幾何学的非線形性の度合いに応じて解が異なる。一方、線形解析では要素座標系の取り方に解は依存しない。要素内の変形において、その幾何学的非線形性の影響が小さい支持条件が解析上合理的と言えるから、定義する要素座標系は、単純支持の支点条件を採用する。したがって、6個の要素端変形を次のように定義し、図示すれば、第3-1図のとおりである。

$$\Delta l, \theta_x, \theta_{iy}, \theta_{iz}, \theta_{jy}, \theta_{jz}$$

ここに、サフィックス  $i, j$  は要素両端を表す。なお、図中の  $\theta_{ic} e_{ic}$  と  $\theta_{jc} e_{ic}$  は、要素端の回転変形成分の合成ベクトルである。



第3-1図 要素端変形と要素端力

一方、要素端変形の仕事の対である要素端力は、要素両端を結ぶ弦方向の力 $N$ 、弦回りの端モーメント $M_x$ 、両端それぞれにおいて弦に直交する2軸回りの端モーメントとなる。まとめれば、

$$N, M_x, M_{iy}, M_{iz}, M_{jy}, M_{jz}$$

であり、これも第3-1図に示すとおりである。

## (2) 平板要素

Engineer's Studioで用いられているMindlin平板要素は有限要素法(FEM)について記載されている一般的な参考書を参照している。以降は主要な点だけを述べるが、理論の詳細は下記文献に基づいている。

### 参考文献 (1)

Zienkiewicz, O. C. and Taylor, R. L. The Finite Element Method. Fifth Edition. 2000. Vol. 1 The Basis. ISBN 0 7506 5049 4.

### 参考文献 (2)

The Finite Element Method. Fifth Edition. 2000. Vol. 2 Solid Mechanics. ISBN 0 7506 5055 9.

Engineer's Studioの板要素は3次元の平板要素であり、要素は3次元空間に平面を仮定する。要素は節点により定義される。Engineer's Studioは4つの異なる、3節点三角形、6節点三角形、4節点四角形と8節点四角形の平板要素に対応している。6節点及び8節点の平板要素は「セレンディピティ型」要素として知られている要素に属しており、この名前は、要素で使用されている形状関数に起因する。(詳細は参考文献(1) 8.6章174ページを参照)

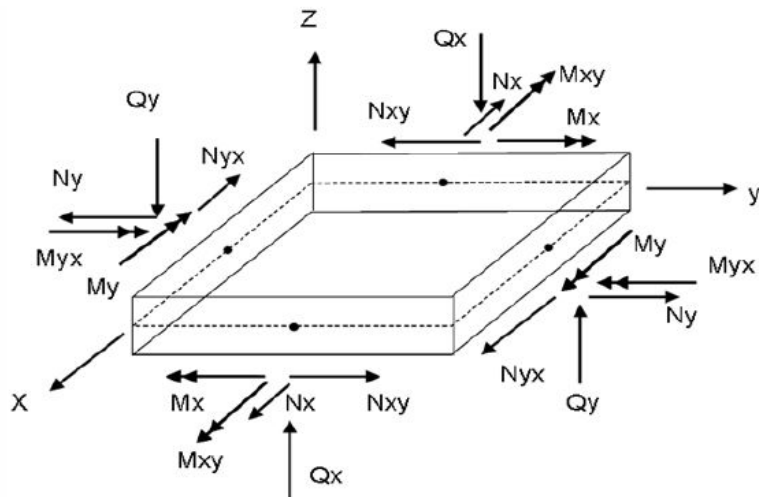
	Triangular			Quadrilateral		
Shape						
Nodes	3	6	4	4	8	8
Gauss Points	1	3	4	1	4	9
Gauss Level	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3 <input checked="" type="checkbox"/>	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3

Not supported      n Standard node position n in the element description.

第3-2図 平板要素のメッシュ要素

面内については、一般的な2次元平面応力モデルが適用される。（詳細は例えば、参考文献(1)の4章「平面応力と平面ひずみ」を参照）

面外については、せん断、曲げ成分両方を考慮する。面外の曲げは、平板要素の厚みから得られる面内層のひずみを積分したもので、面外せん断モデルは線形弾性であり、その値は要素の厚さを通して全ての層で積分することで得られる。



第3-3図 平板要素断面力

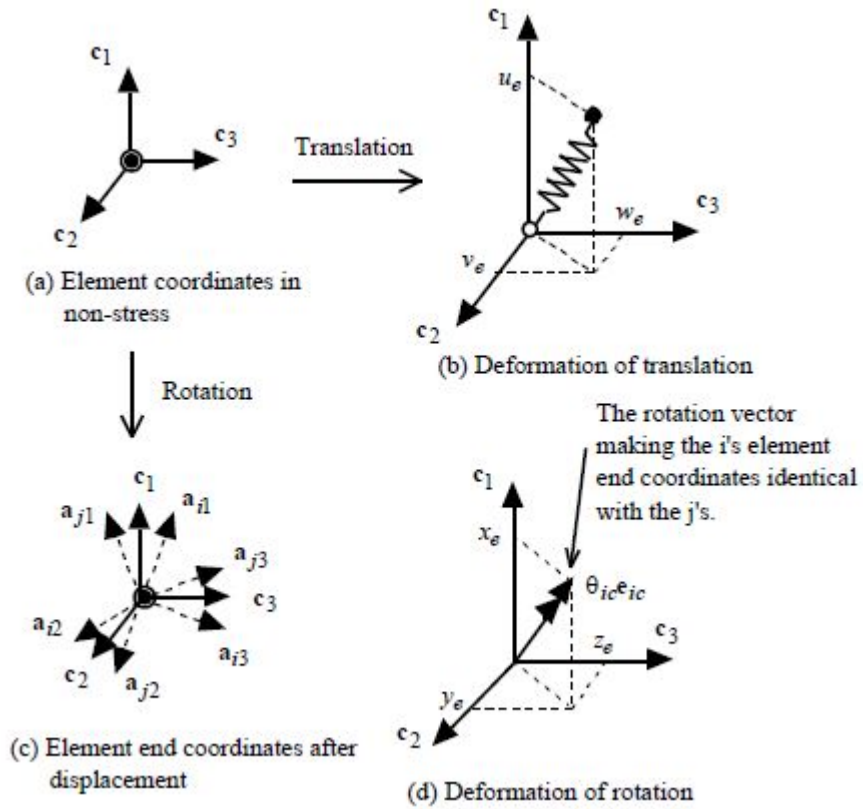
(3) 地盤バネ

バネ要素は要素の長さがゼロあるいは無視できる要素に対して適用する。バネ要素両端に接続された2節点の変位から計算される要素両端の相対変位を要素変形と定義する。

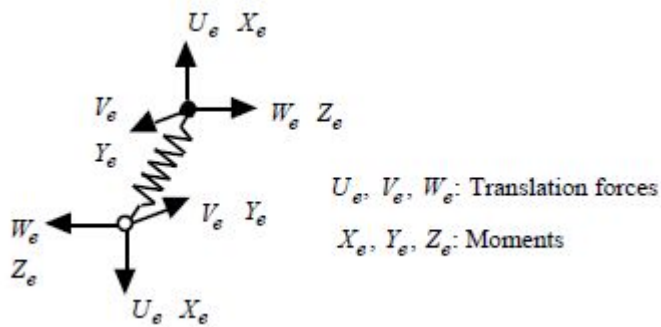
第3-4図には要素変形を明確にするため、並進変形と回転変形を分離して示している。



並進変形及び回転変形の成分を求めるために必要となる変位後の要素座標系は、次のように決定する。節点変位と共に回転する要素端  $i$  に設定された要素端座標系が、変位後の他端  $j$  要素端座標系に一致する回転を求める。この回転の半回転を  $i$  端座標系に与えた回転後の座標系を要素座標系と定義する。並進変形の各成分は 2 節点を結ぶベクトルの要素座標軸成分であり、回転変形は  $i$  端座標系が  $j$  端座標系に一致する回転ベクトルを要素座標軸成分として求めたものになる。



第3-4図 バネ要素の要素変形と要素座標系

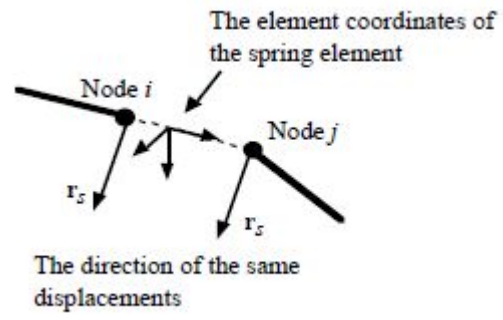


第3-5図 バネ要素の要素端力

したがって、これら要素変形と仕事の対を成す要素端力は、第3-5図に示すように、要素座標軸に平行であり要素両端で逆向きとなる3つの対をなす並進力と、要素座標軸周り両端逆向きの3対の端モーメントである。要素端に作用するそれぞれ6個の力の内、これら3並進力と3端モーメントの6つの力が独立である。要素端に作用する12の力の内、これら独立な端力を除く6つの力は3対の並進力に釣り合うべき端モーメントであることは明白であるが、これらの従属する力が要素両端にどのように作用するかは明確ではない。しかし、定義された要素座標系から厳密な適合条件により導かれる要素変形を節点変位により展開することによって、線形の適合条件が導かれるとともに、平衡条件式も同様に得ることができる。結果として、3並進力に釣り合うべき3つのモーメントを両端に均等に配分することにより生じる6つのモーメント（回転変形と対を成すモーメントとは異なるモーメント）が、従属な要素端力となる。

この要素座標系の大きな特徴は、バネ要素が接続される2節点の均等性が保証されることと、バネ要素長がゼロであっても幾何剛性が算出できる点にある。線要素に単純梁要素座標系を採用した場合、軸力をその要素長で割る幾何剛性が存在し、これ故に要素長ゼロが発生する要素に対しては単純梁要素座標系が適用できない。一方、片持ち梁要素座標系では幾何剛性にゼロ割は生じないものの、固定端側に接続される節点と自由端側に接続される節点では、要素内の幾何学的非線形を完全に取り入れない限り節点間の不均等性が現れ、片持ち梁要素座標系の与え方次第で解は異なることになる。ここで定義した要素座標系はこれらの問題点を解消できるものである。しかしながら、ゴム支承などのせん断変形が卓越し、要素長が確実に保証できる部材にこの要素座標系を適用した場合、せん断変形により見かけ上軸方向の圧縮変形が生じ、本来存在しない圧縮力を生み出すこととなり、実現象に対する精度の悪化は否めない。要素長ゼロの可能性が無い要素であれば、曲げ変形に加えてせん断変形を行う線要素として単純梁要素座標系を使用することが望ましい。本解析で使用するバネ要素においては、要素端力は仕事の対として対応する要素変形によってバネ定数から独立に決定されるものとし、他の要素変形との連成は無いものとする。要素変形と要素端力の関係は非弾性も可能とし、バネの復元力特性として、バイリニアあるいは一方向のみ復元力がバイリニアとなる非弾性性状を与えることができるものとする。

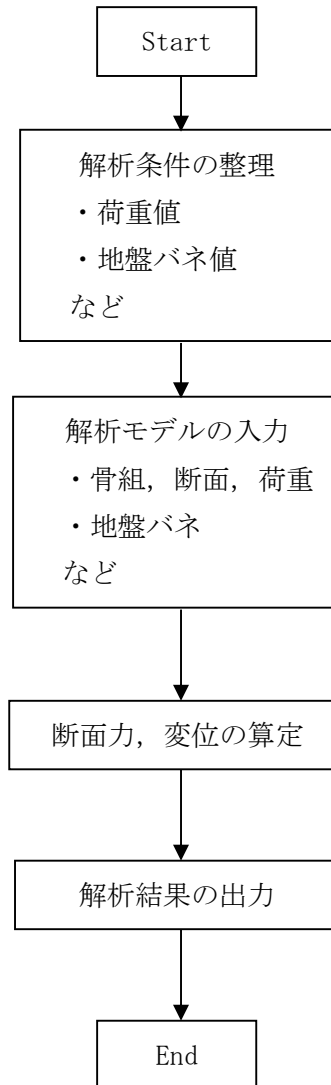
第3-6図に示す2重節点(要素両端の変位が1つ以上の自由度について一致する節点)は、このバネ要素で設定するものとする。非線形解析においては、変位が一致する方向は節点変位と共に変化するため、厳密な適合条件から求めた変位後の要素座標系を使用して、2重節点における変位が一致する方向を確定する必要がある。



第3-6图 2重節点

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを第3-7図に示す。



第3-7図 解析フローチャート

### 3.5 検証(Verification)と妥当性(Validation)

#### (1) 理論解との比較による検証

梁モデル及び平板モデルについては、単純梁、単純板の理論解と比較を行う。地盤バネについては、単純なモデルで地盤バネの履歴が想定している骨格曲線と一致しているかを確認し検証を行う。

##### a. 梁モデル

単純梁モデルに等分荷重を載荷した時の最大曲げモーメント，最大せん断力，最大たわみの理論解と解析結果の比較を行う。

- ・解析モデル

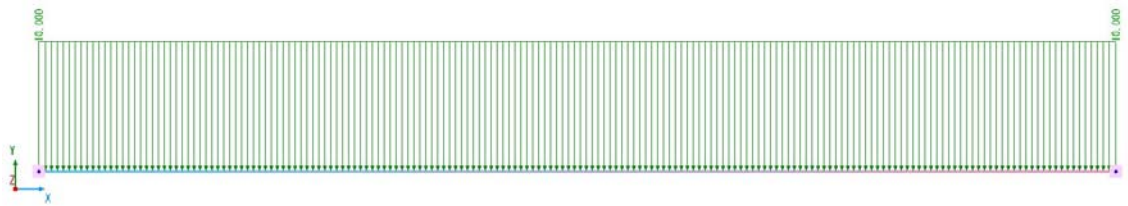
解析モデルは第3-8図に示すモデルとし，解析条件は下記のとおりとする。

- ・長さ  $L$  : 10 (m)

- ・ヤング係数  $E$  : 25000 N/mm<sup>2</sup> → 25000000 kN/m<sup>2</sup>

- ・断面二次モーメント  $I$  : 1 m<sup>4</sup>

- ・等分布荷重  $q$  : 10 kN/m



第3-8図 解析モデル図(梁モデル)

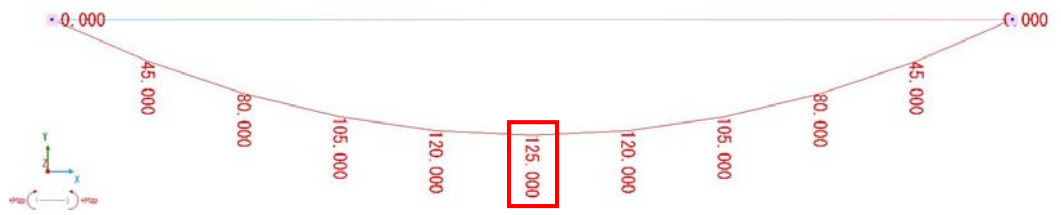
この条件での最大曲げモーメント，最大せん断力，最大たわみの理論解は，構造力学公式集より以下のとおりとなる。

$$\text{最大曲げモーメント } M_{\max} = qL^2/8 = (10 \times 10^2)/8 = 1000/8 = 125 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{最大せん断力 } S_{\max} = qL/2 = (10 \times 10)/2 = 50 \text{ kN}$$

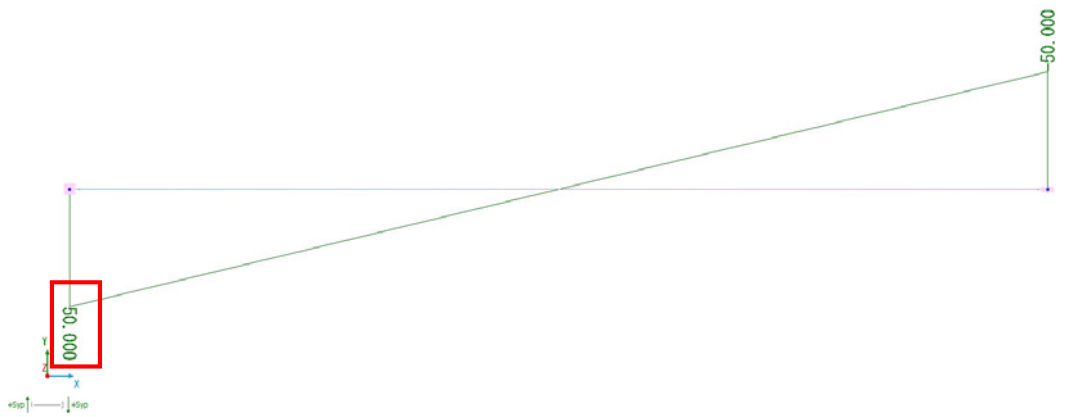
$$\begin{aligned} \text{最大たわみ } y_{\max} &= 5qL^4/384EI = (5 \times 10 \times 10^4)/(384 \times 25000000 \times 1) = 5.20833 \times 10^{-5} \text{ m} \\ &= 0.052083 \text{ mm} \end{aligned}$$

Engineer's Studioの曲げモーメントの算出結果を第3-9図に，せん断力の算出結果を第3-10図に，たわみの算出結果を第3-11図に示す。



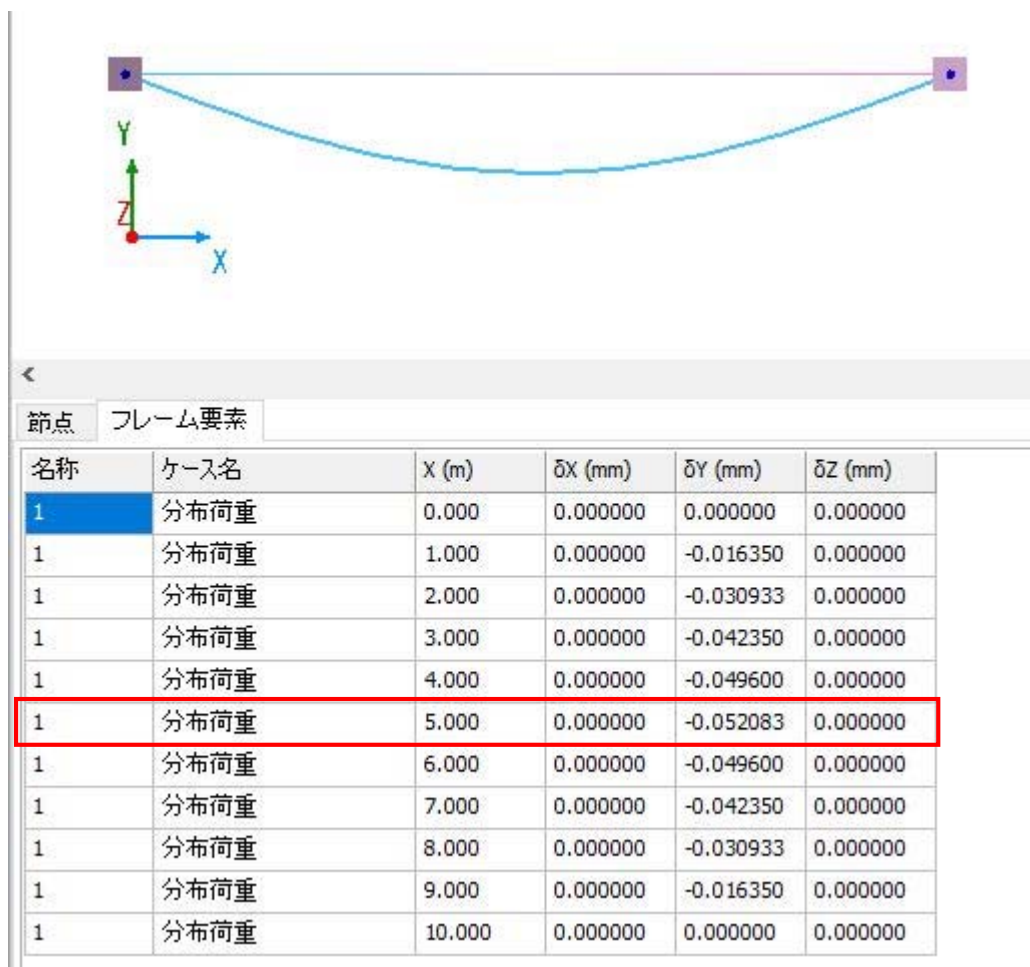
最大曲げモーメント  $M_{z \text{ p m a x}} = 125 \text{ kN}\cdot\text{m}$

第3-9図 曲げモーメントの算出結果



最大せん断力  $S_{y \text{ p m a x}} = 50 \text{ kN}$

第3-10図 せん断力の算出結果



最大たわみ  $\delta y_{max} = -0.052083$  mm

第3-11図 たわみの算出結果

第3-1表 理論解と解析結果の比較

対象		理論解	解析結果	比率
最大曲げモーメント	(kN・m)	125	125	100.0%
最大せん断力	(kN)	50	50	100.0%
最大たわみ	(mm)	0.052083	-0.052083	100.0%

第3-1表に理論解と解析結果の比較を示す。

最大曲げモーメント，最大せん断力，最大たわみが理論解と解析結果で一致しており，断面力，変位が正しく算出されていることが確認できる。

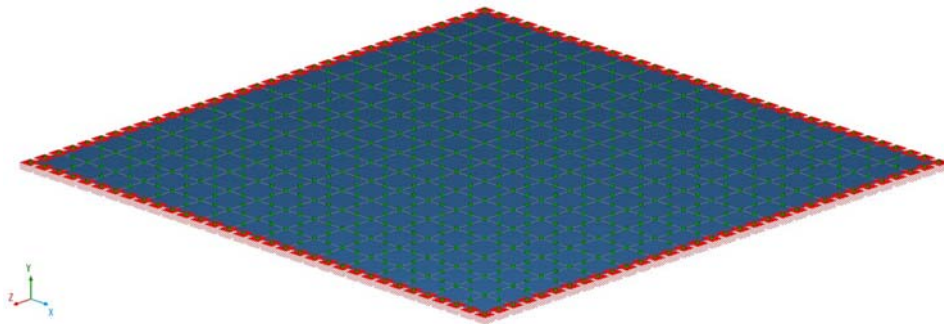
## b. 平板要素

4辺固定の単純板に等分布荷重を載荷した時の曲げモーメントの理論解と解析結果の比較を行う。

## ・ 解析モデル

解析モデルは第3-12図に示すモデルとし、解析条件は下記のとおりとする。

- ・ 長さ  $a, b : 4 \text{ m}$
- ・ 等分布荷重  $p_0 : 50 \text{ kN/m}$
- ・ ポアソン比  $\nu : 0.3$



第3-12図 解析モデル図（平板要素）

この条件での最大曲げモーメント，最大たわみの理論解は，構造力学公式集より以下のとおりとなる。

$b/a = 4/4 = 1.0$ より，端部の  $\beta_1 = -0.0513$ ，中央部  $\beta_2 = 0.0231$

端部曲げモーメント  $M_1 = \beta_1 \times p_0 \times a^2 = -0.0513 \times 50 \times 4^2 = -41.04 \text{ kN}\cdot\text{m}$

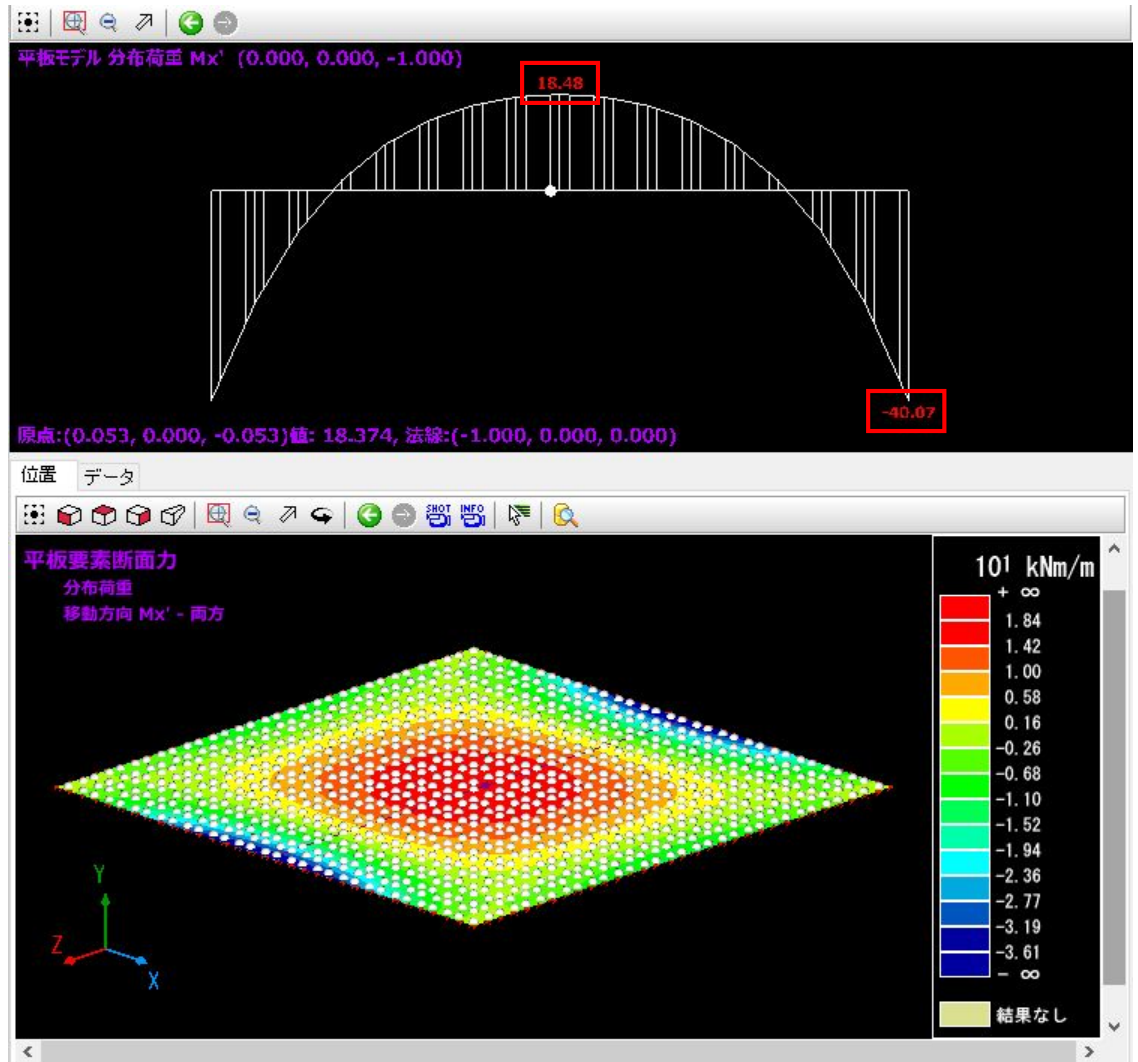
中央曲げモーメント  $M_2 = \beta_2 \times p_0 \times a^2 = 0.0231 \times 50 \times 4^2 = 18.48 \text{ kN}\cdot\text{m}$



Engineer's Studioの端部及び中央部の曲げモーメントの結果を第3-13図に示す。

端部曲げモーメント $M_{x1} = -40.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$

中央曲げモーメント $M_{x2} = 18.48 \text{ kN}\cdot\text{m}$



第3-13図 曲げモーメントの算出結果

第3-2表 理論解と解析結果の比較

対象		理論解	解析結果	比率
端部モーメント	( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )	41.04	40.07	102.4%
中央モーメント	( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )	18.48	-18.48	100.0%

第3-2表に理論解と解析結果の比較を示す。

曲げモーメントが理論解と解析結果でほぼ一致しており、断面力が正しく算出されていることが確認できる。

c. 地盤バネ

単純な地盤バネモデルに対して、増分荷重を载荷した時に、バネの応答履歴が想定している骨格曲線と一致しているか確認を行う。

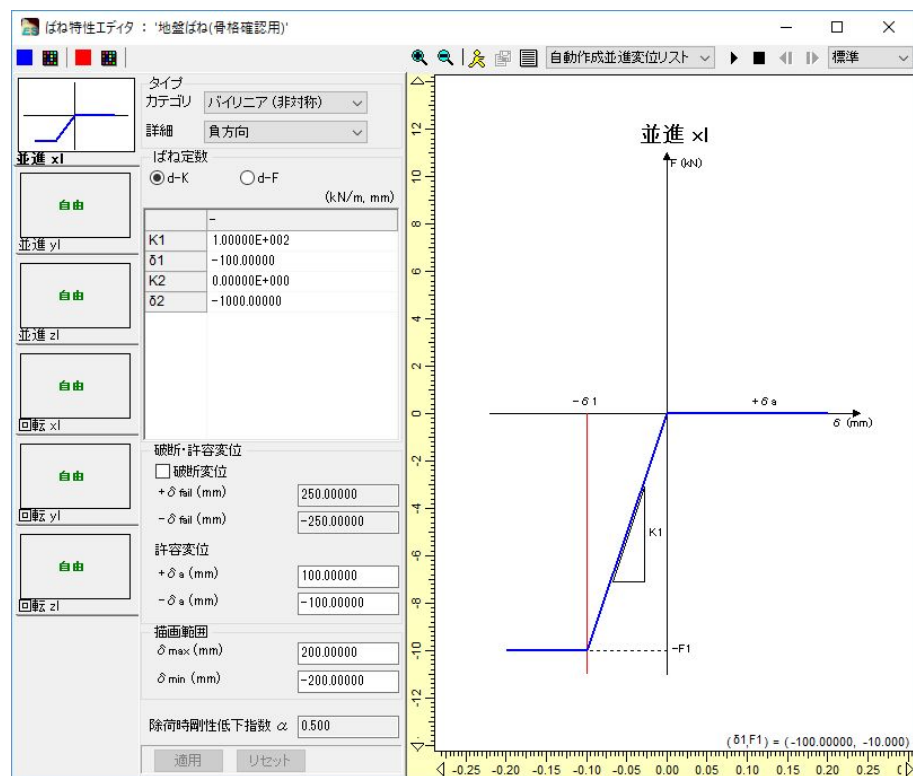
・解析モデル

解析モデルは第3-14図に示すモデルとし、解析条件は下記のとおりとする。なお、モデル図としてわかりやすくするため、バネ要素に長さを持たせているが、解析上の長さは無視して計算され、影響はない。

- ・バネの初期剛性  $K1 : 100 \text{ kN/m} \rightarrow 0.1 \text{ kN/mm}$
- ・バネの二次剛性  $K2 : 0 \text{ kN/m}$
- ・バネの降伏変位  $\delta 1 : -100 \text{ mm}$
- ・载荷荷重  $P$  : 水平強制変位  $10 \text{ mm}$  を  $20$  ステップ増分载荷。(最終変位  $= 10 \times 20 = 200 \text{ mm}$ )



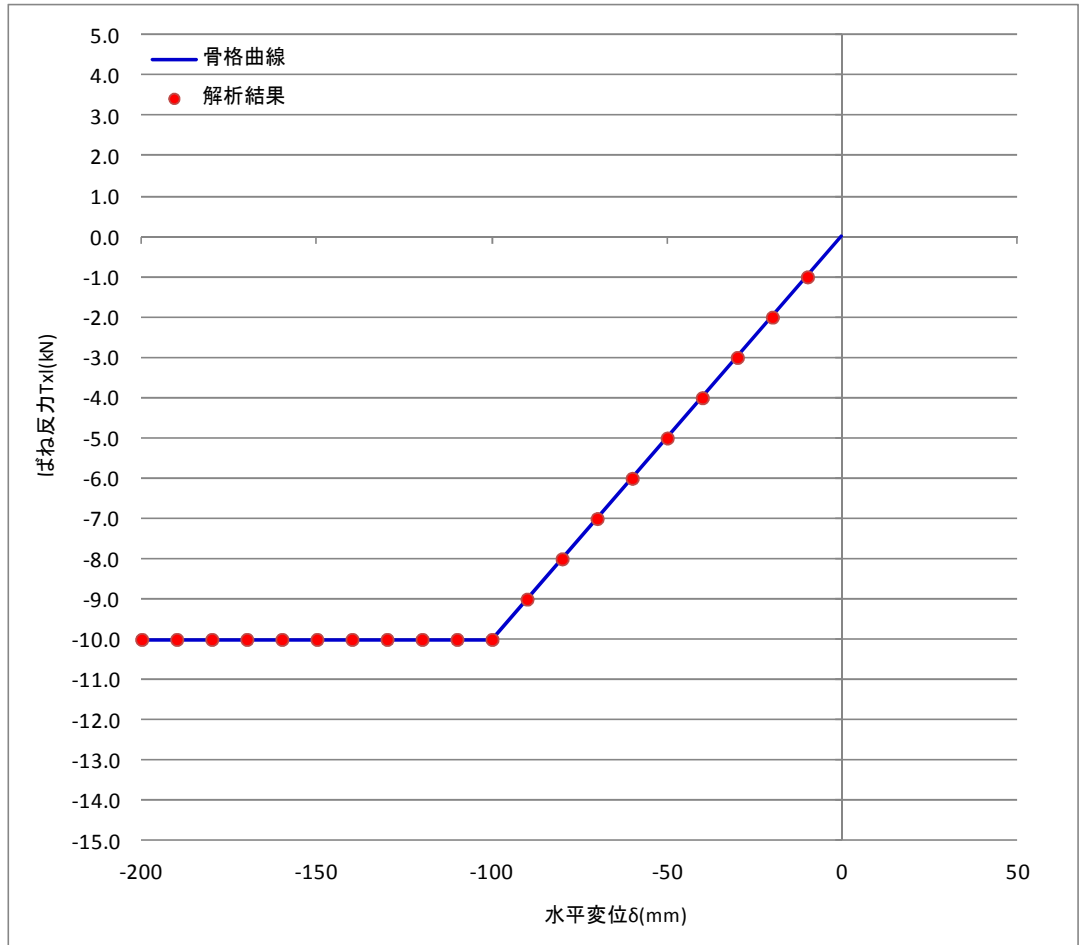
第3-14図 解析モデル(地盤バネ)



第3-15図 バネの骨格曲線

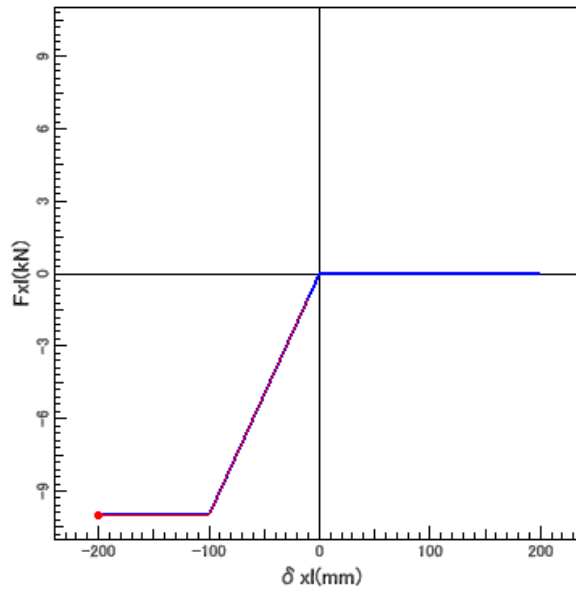
第3-15図にバネの骨格曲線を示す。この条件では、水平変位  $10 \text{ mm}$  に対し、バネ反力は  $1 \text{ kN}$  ずつ増加し、降伏変位  $100 \text{ mm}$  ( $100$  ステップ) 以降の反力は変化しない。

骨格曲線と解析結果の比較を第 3-16 図に示す。



第3-16図 骨格曲線と解析結果の比較結果

バネの応答履歴を第3-17図に、数値解析結果を第3-18図に示す。



第3-17図 バネの応答履歴

ナビゲーション		グラフ 強制変位増分						
ばね時刻履歴結果		ステップ	$\delta x_l$ (mm)	$T x_l$ (kN)	$\delta y_l$ (mm)	$T y_l$ (kN)	$\delta z_l$ (mm)	$T z_l$ (kN)
ばね要素	1	1	-10.00000	-1.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
ラン		2	-20.00000	-2.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
<input checked="" type="checkbox"/> 強制変位増分		3	-30.00000	-3.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		4	-40.00000	-4.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		5	-50.00000	-5.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		6	-60.00000	-6.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		7	-70.00000	-7.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		8	-80.00000	-8.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		9	-90.00000	-9.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		10	-100.00000	-10.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		11	-110.00000	-10.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		12	-120.00000	-10.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		13	-130.00000	-10.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		14	-140.00000	-10.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		15	-150.00000	-10.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		16	-160.00000	-10.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		17	-170.00000	-10.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		18	-180.00000	-10.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		19	-190.00000	-10.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000
		20	-200.00000	-10.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000

第3-18図 数値解析結果

理論解と解析結果の比較を第3-3表に示す。

第3-3表 理論解と解析結果の比較

ステップ	水平変位			ばね反力		
	$\delta x1$ (mm)			Fx1 (kN)		
	理論解	解析結果	比率	理論解	解析結果	比率
1	-10.000	-10.000	100.0%	-1.000	-1.000	100.0%
2	-20.000	-20.000	100.0%	-2.000	-2.000	100.0%
3	-30.000	-30.000	100.0%	-3.000	-3.000	100.0%
4	-40.000	-40.000	100.0%	-4.000	-4.000	100.0%
5	-50.000	-50.000	100.0%	-5.000	-5.000	100.0%
6	-60.000	-60.000	100.0%	-6.000	-6.000	100.0%
7	-70.000	-70.000	100.0%	-7.000	-7.000	100.0%
8	-80.000	-80.000	100.0%	-8.000	-8.000	100.0%
9	-90.000	-90.000	100.0%	-9.000	-9.000	100.0%
10	-100.000	-100.000	100.0%	-10.000	-10.000	100.0%
11	-110.000	-110.000	100.0%	-10.000	-10.000	100.0%
12	-120.000	-120.000	100.0%	-10.000	-10.000	100.0%
13	-130.000	-130.000	100.0%	-10.000	-10.000	100.0%
14	-140.000	-140.000	100.0%	-10.000	-10.000	100.0%
15	-150.000	-150.000	100.0%	-10.000	-10.000	100.0%
16	-160.000	-160.000	100.0%	-10.000	-10.000	100.0%
17	-170.000	-170.000	100.0%	-10.000	-10.000	100.0%
18	-180.000	-180.000	100.0%	-10.000	-10.000	100.0%
19	-190.000	-190.000	100.0%	-10.000	-10.000	100.0%
20	-200.000	-200.000	100.0%	-10.000	-10.000	100.0%

以上より、バネの応答履歴が想定している骨格曲線と一致していることが確認できる。

(2) 使用内容に対する妥当性

鉄筋コンクリート防潮壁，鋼製防護壁，海水引込み管及び緊急用海水取水管の梁，板及び非線形地盤バネモデルの地震応答解析における断面力及び変位の算定にEngineer's Studioを使用することは，次の通り検証されており，妥当である。

- ・検証の内容のとおり，梁モデル，平板モデル，地盤バネ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。

#### 4. 解析コードの概要（竜巻分）

項目 \ コード名	Engineer's Studio
使用目的	3次元骨組みモデルによる断面力，変位並びに固有周期の算定
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	2009年
使用したバージョン	Ver. 6.00.04
計算機コードの概要	<p>Engineer's Studioは，3次元有限要素法（FEM）解析を行う解析コードである。主な特徴は下記のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・土木建築構造物の部材を，1本の棒に見立てた梁要素や平面的に連続した平板要素でモデル化して構造物の応答解析並びに固有値解析を行い，断面力及び変位並びに固有周期の算出を行う。</li> </ul>
検証（Verification）及び 妥当性確認（Validation）	<p>本コードは，海水ポンプ室周りの竜巻防護施設の設計において，梁要素を用いた静的応答解析による断面力及び変位の算定並びに梁要素を用いた固有値解析による固有周期の算定に使用されている。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b> 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"> <li>・本解析コードによる単純梁モデルに対する応答解析結果と理論解が一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードによる固有値解析結果と理論解が一致することを確認している。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 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"> <li>・検証内容のとおり，梁モデル，固有値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。</li> </ul>

## 5. Engineer's Studioの解析手法について

### 5.1 一般事項

Engineer's Studioは土木・建築構造物の部位を1本の棒に見立てた梁要素や平面的に連続した平板要素でモデル化して、構造物の非線形挙動を解析できる3次元有限要素法（FEM）解析プログラムである。Engineer's Studioは、梁要素を用いた静的応答解析による断面力及び変位の算定並びに梁要素を用いた固有値解析による固有周期の算定に使用している。

### 5.2 解析コードの特徴

Engineer's Studioの主な特徴を以下に示す。

- ・土木建築構造物の部材を、1本の棒に見立てた梁要素や平面的に連続した平板要素でモデル化して構造物の応答解析並びに固有値解析を行い、断面力及び変位並びに固有周期の算出を行う。

### 5.3 解析手法

#### (1) 弾性梁要素

弾性梁要素は2節点を直線で結ぶ要素であり、軸方向の伸縮変形と2節点の回転変位を含む相対変位によって生じる曲げと捻れ変形に対して弾性の復元力を持つ要素である。

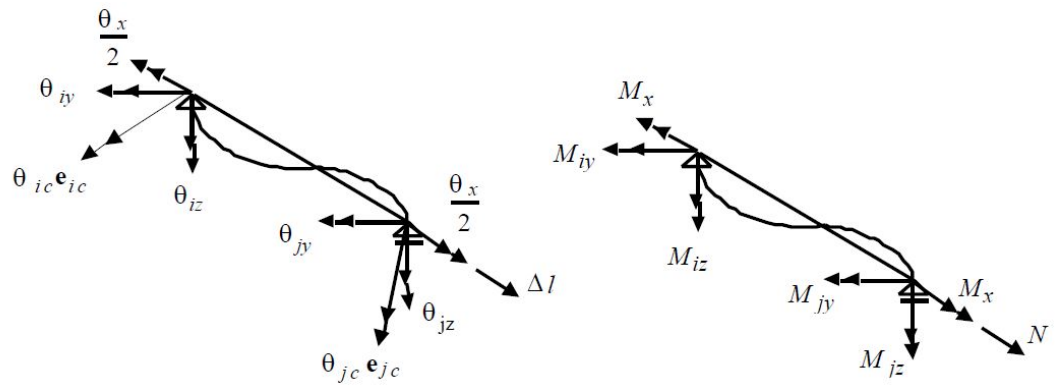
2節点要素であるから、3次元空間内にある要素両端自由度は12であり、要素の剛体としての変位を拘束する自由度は6個必要であるから、差し引き6個の自由度が要素の弾性変形を表す要素端変形となる。この要素端変形と仕事の対をなす力が要素端力である。言い換えれば、要素端に働く3つの力の内、6個は要素変形を生じさせ、6個は要素を支持する支点反力を意味する。この静定な支点条件要素座標系の設定によって、要素端力と要素端変形が確定する。

要素座標系として単純支持あるいは片持ち支持など考えることができる。本解析では要素座標系内における幾何学的非線形を考慮しないため、非線形解析では要素内の幾何学的非線形性の度合いに応じて解が異なる。一方、線形解析では要素座標系の取り方に解は依存しない。要素内の変形において、その幾何学的非線形性の影響が小さい支持条件が解析上合理的と言えるから、定義する要素座標系は、単純支持の支点条件を採用する。したがって、6個の要素端変形を次のように定義し、図示すれば、第5-1のとおりである。

$$\Delta l, \theta_x, \theta_{iy}, \theta_{iz}, \theta_{jy}, \theta_{jz}$$

ここに、サフィックス  $i, j$  は要素両端を表す。なお、図中の  $\theta_{ic} e_{ic}$  と  $\theta_{jc} e_{ic}$  は、要素端の回転変形成分の合成ベクトルである。





第5-1図 要素端変形と要素端力

一方、要素端変形の仕事の対である要素端力は、要素両端を結ぶ弦方向の力 $N$ 、弦回りの端モーメント $M_x$ 、両端それぞれにおいて弦に直交する2軸回りの端モーメントとなる。まとめれば、

$$N, M_x, M_{iy}, M_{iz}, M_{jy}, M_{jz}$$

であり、これも第5-1図に示すとおりである。

(2) 固有値解析

固有値解析では、減衰のない自由振動の運動方程式

$$[M] \{x''\} + [K] \{x\} = 0 \dots (1)$$

[M] : モデル全体の質量マトリクス

[K] : モデル全体の剛性マトリクス (初期剛性)

{x''} : 節点の加速度ベクトル

{x} : 節点の変位ベクトル

から出発して、以下のように固有値(固有振動数, 固有モード)を求める。

式(1)の解を

$$\{x\} = \{X\} \cdot \exp(i\omega t)$$

ただし、

$$\{X\} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}^T \quad (\wedge T \text{は転置を意味する})$$

$i$  : 虚数単位

$t$  : 時間

$\omega$  : 固有円振動数で、固有振動数 $f$ との関係は $\omega = 2\pi f$

とおくと、式(1)は

$$([K] - \omega^2 \cdot [M]) \cdot \{X\} = 0 \dots (2)$$

となる。

これを満足する $\omega^2$ と $\{X\}$ を求める。 $\{X\} = 0$ は静止状態を表すので振動問題では興味がなく、

通常は  $\{X\} = 0$  以外の解を持つことを考える。そのためには係数行列の行列式がゼロでなければならない。

$$|[K] - \omega^2 \cdot [M]| = 0$$

これを解くと、 $n$ 個の正根  $\omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_n^2$  が得られる ( $\omega_1 < \omega_2 < \dots, < \omega_n$ )。  $\omega_i$  を第  $i$  次の固有円振動数と呼ぶ。  $\omega_i$  を (2) 式に代入して得られる方程式から  $\{X\}$  の各成分の比が求まる。

$$\{X_i\} = (X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni})^T$$

$\{X_i\}$  を第  $i$  次の固有振動形または基準振動形と呼ぶ。

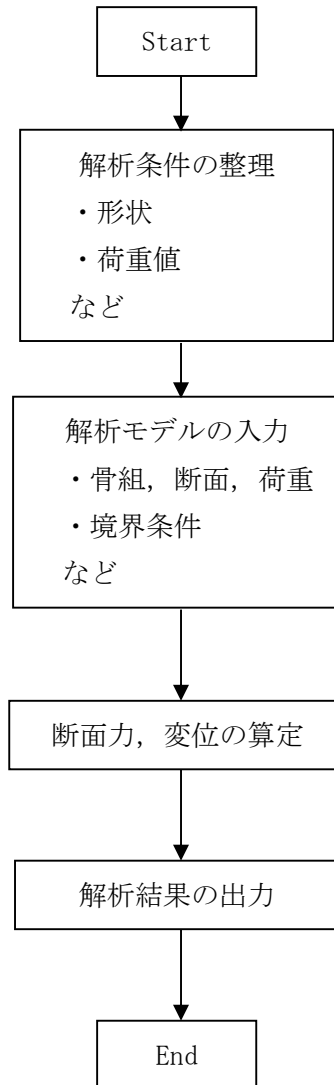
$\{X_i\}$  は各成分の相対的な比率で構成される固有ベクトルなので一意的ではないが、特に次の条件を満たす  $\{X_i\}$  を  $\{\phi_i\}$  で表し、正規化された基準振動形と呼ぶ。

$$\{\phi_i\}^T \cdot [M] \cdot \{\phi_i\} = 1 \dots (3)$$

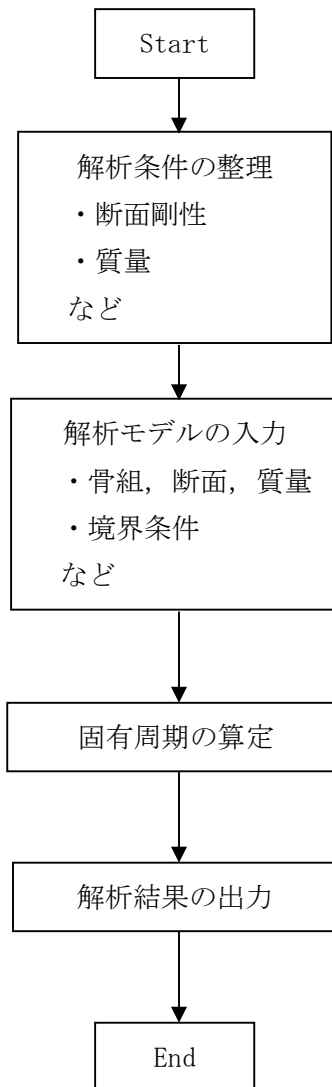
本プログラムにおいても、式(3)により正規化された固有ベクトル  $\{\phi_i\}$  を算出し、それを用いて刺激係数を求めている。

#### 5.4 解析フロー

応答解析の解析フローを第5-2図に、固有値解析の解析フローを第5-3図に示す。



第5-2図 解析フロー(応答解析)



第5-3図 解析フロー(固有値解析)

## 5.5 検証(Verification)と妥当性(Validation)

### (1) 理論解との比較による検証

応答解析，固有値解析のそれぞれについて，単純梁の理論解との比較を行う。

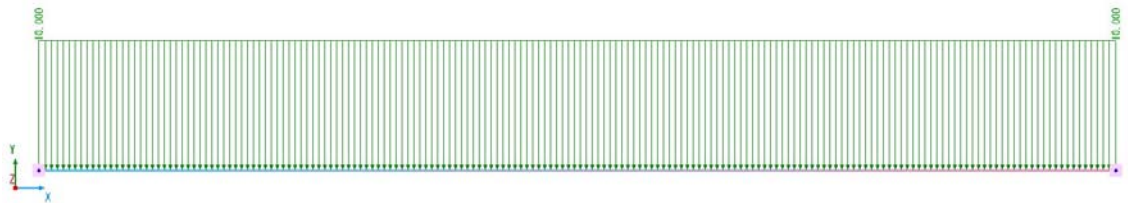
#### a. 応答解析

単純梁モデルに等分荷重を載荷した時の最大曲げモーメント，最大せん断力，最大たわみの理論解と解析結果の比較を行う。

##### ・解析モデル

解析モデルは第5-4図に示すモデルとし，解析条件は下記のとおりとする。

- ・長さ  $L$  : 10 (m)
- ・ヤング係数  $E$  : 25000 N/mm<sup>2</sup> → 25000000 kN/m<sup>2</sup>
- ・断面二次モーメント  $I$  : 1 m<sup>2</sup>
- ・等分布荷重  $q$  : 10 kN/m



第5-4図 解析モデル図(梁モデル)

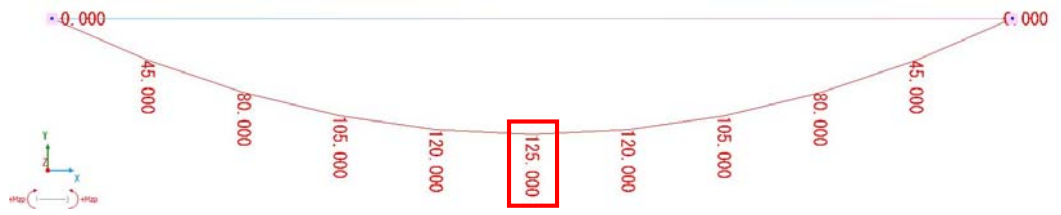
この条件での最大曲げモーメント，最大せん断力，最大たわみの理論解は，構造力学公式集より以下のとおりとなる。

$$\text{最大曲げモーメント } M_{\max} = qL^2/8 = (10 \times 10^2)/8 = 1000/8 = 125 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

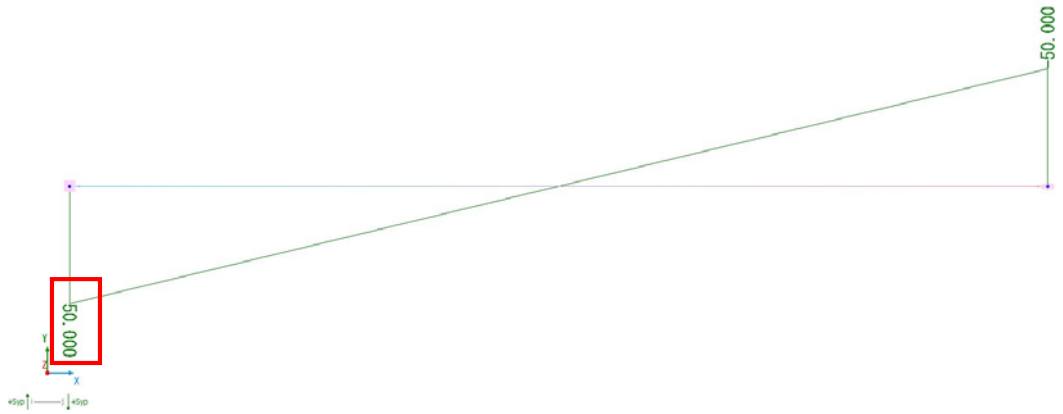
$$\text{最大せん断力 } S_{\max} = qL/2 = (10 \times 10)/2 = 50 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{最大たわみ } y_{\max} &= 5qL^4/384EI = (5 \times 10 \times 10^4)/(384 \times 25000000 \times 1) = 5.20833 \times 10^{-5} \text{ m} \\ &= 0.052083 \text{ mm} \end{aligned}$$

Engineer's Studioによる断面力の算出結果を第5-5図に，たわみの算出結果を第5-6図に示す。

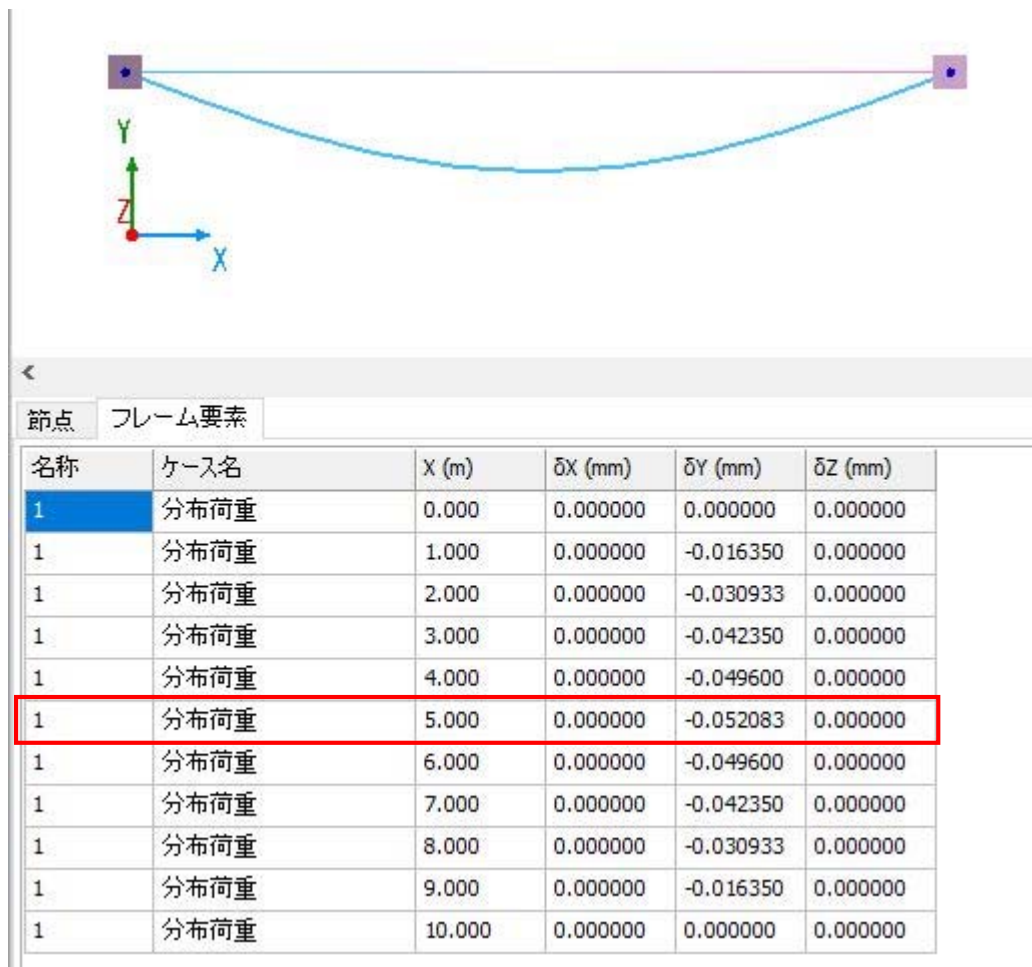


最大曲げモーメント  $M_{z \text{ p m a x}} = 125 \text{ kN}\cdot\text{m}$



最大せん断力  $S_{y \text{ p m a x}} = 50 \text{ kN}$

第5-5図 断面力の算出結果



最大たわみ  $\delta y_{max} = -0.052083$  mm

第5-6図 たわみの算出結果

第5-1表 理論解と解析結果の比較

対象		理論解	解析結果	比率
最大曲げモーメント	(kN・m)	125	125	100.0%
最大せん断力	(kN)	50	50	100.0%
最大たわみ	(mm)	0.052083	-0.052083	100.0%

第5-1表に理論解と解析結果の比較を示す。

最大曲げモーメント，最大せん断力，最大たわみが理論解と解析結果で一致しており，断面力，変位が正しく算出されていることが確認できる。

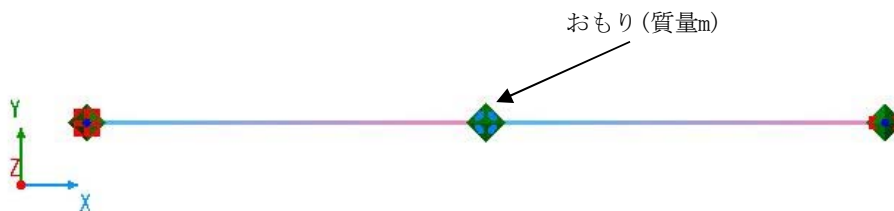
b. 固有値解析

単純梁モデルの固有値解析について、計算例と解析結果の比較を行う。

・解析モデル

参考とする計算例は「入門建設振動学 小坪 清真著 1996年 森北出版(株)」とし、P13-14の第2章 1自由度系の自由振動 2.3振動方程式の解の例題2.2とする。

第5-7図に示すような曲げ剛性EIが一定で長さLの両端支持ばりの中点に質量mのおもりが乗り、梁の質量はおもりの質量に比し無視できるとした場合、上下振動の固有周期は以下の式で求められる。



第5-7図 解析モデル図(固有値解析)

$$\text{固有円振動数 } n = \sqrt{\frac{ml^3}{48EI}}$$

$$\text{固有周期 } T = \frac{2\pi}{n} = 2\pi \sqrt{\frac{ml^3}{48EI}}$$

そこで、下記の解析条件で固有周期を求めて比較する。

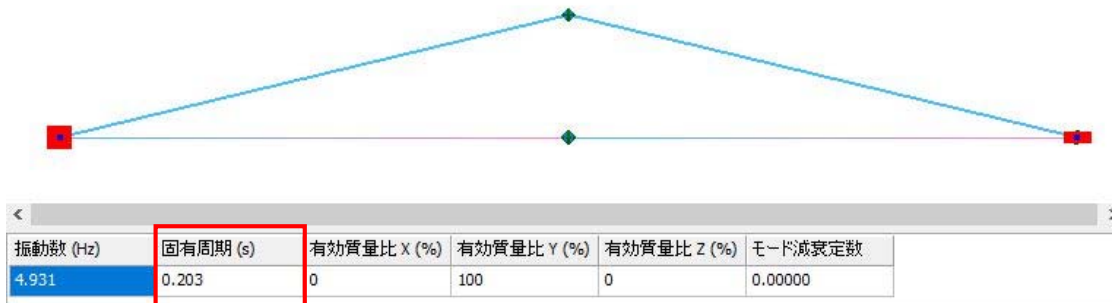
- ・長さ L : 1.0(m)
- ・質量 m : 100(ton)
- ・断面2次モーメント I : 0.0001(m<sup>4</sup>)
- ・ヤング係数 E : 20000(N/mm<sup>2</sup>) → 20000000(kN/m<sup>2</sup>)

条件を算出式へ代入すると、固有周期は下記の通りとなる。

$$T = 2 \times 3.141596 \times \sqrt{\frac{100 \times 1^3}{48 \times 20000000 \times 0.0001}} = 0.20278 \cong 0.203(\text{s})$$



Engineer's Studioの固有値解析結果を第5-8図に示す。



第5-8図 固有値解析結果

第5-2表 理論解と解析結果の比較

対象		理論解	解析結果	比率
固有周期	(s)	0.203	0.203	100.0%

第5-2表に理論解と解析結果の比較を示す。

固有周期が理論解と解析結果で一致しており，固有値が正しく算出されていることが確認できる。

(2) 使用内容に対する妥当性

海水ポンプ室周りの竜巻防護施設の設計において，梁要素を用いた静的応答解析による断面力及び変位の算定並びに梁要素を用いた固有値解析による固有周期の算定に使用することは，次の通り検証されており妥当である。

- ・ 検証の内容のとおり，梁モデル，固有値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。



東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-672 改2
提出年月日	平成30年9月20日

V-5-40 計算機プログラム（解析コード）の概要・FRAME（面内）

## 目次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3

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）FRAME（面内）について説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-27	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書	Ver. 5.0.4
V-2-2-29	代替淡水貯槽の耐震性についての計算書	Ver. 5.0.4

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 FRAME (面内)
使用目的	2次元骨組構造解析 (断面力算出)
開発機関	株式会社 フォーラムエイト
開発時期	1998年
使用したバージョン	Ver. 5.0.4
コードの概要	<p>(株) フォーラムエイトによって開発された、平面骨組構造解析の汎用市販コードである。</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、2次元平面骨組モデルの断面力・変位・反力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>FRAME (面内) は汎用市販コードであり、常設低圧代替注水系ポンプ室及び代替淡水貯槽の断面力算出に使用している。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b></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"> <li>今回の工認申請で使用する機能の検証として、材料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て静的解析を実施した解析解と、構造力学公式集に記載の理論式による理論解とを比較し、解析解と理論解が一致することを確認している。</li> <li>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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></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"> <li>本解析コードは、国内の建築・土木分野において使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>関西電力株式会社の「大飯原子力発電所第3号機」において、止水壁の平面骨組解析 (断面力算出) に本コード (Ver. 5.00) が使用された実績がある。</li> <li>本工事計画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異なるが、バージョンの変更において、本解析の使用範囲の結果に影響の無いことを確認している。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>・本解析コードの理論は、一般的に認知されているものであり、今回の工認申請で使用する2次元骨組モデルによる断面力算定での適用は妥当である。</li><li>・本工事計画における構造に対して行う断面力算定の使用目的に対し、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。</li></ul>
--	---



東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-673 改2
提出年月日	平成30年9月20日

V-5-41 計算機プログラム（解析コード）の概要・FREMI NG

## 目次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
3. FREMINGの解析手法について	4
3.1 一般事項	4
3.2 解析コードの特徴	4
3.3 解析理論	5
3.4 解析フローチャート	25
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	26

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において用いた解析コードFREMINGについて説明するものである。

本解析コードを用いた添付書類を示す使用状況一覧に、解析コードの概要を以降にそれぞれ記載する。

## 1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-35	緊急用海水ポンプピットの耐震性についての計算書	Ver. 14.1B
V-2-2-39-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の耐震性についての計算書	Ver. 14.1B
V-3-別添3-2-1-2-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の強度計算書	Ver. 14.1B
V-3-別添3-2-9	貯留堰の強度計算書	Ver. 14.1B

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 FREMING
使用目的	平面骨組解析（断面力算出）
開発機関	富士通エフ・アイ・ピー株式会社
開発時期	1995年
使用したバージョン	Ver. 14.1B
コードの概要	<p>富士通エフ・アイ・ピー株式会社によって開発された、平面骨組構造解析の汎用市販コードである。</p> <p>本解析コードは、平面骨組計算プログラムであり、平面構造物にモデル化できる構造物はすべて計算が可能である。</p> <p>適用範囲として、橋梁、鉄塔、トンネル、及び共同溝などの土木構造物から、ビル、建屋など建築構造物の設計計算に利用可能である。</p> <p>また、面内荷重及び面外荷重において、線形及び非線形解析が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>FREMING Ver. 14.1Bは、緊急用海水ポンプピット及び防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））並びに貯留堰の平面骨組解析（断面力算出）に用いている。</p> <p><b>【検証（Verification）】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は、次の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料力学分野における一般的知見によって解を求めることができる体系について、平面骨組解析モデルによる解析解（断面力）と理論解と比較し、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認（Validation）】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、次の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、国内の土木建築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。</li> <li>・本解析コードによる解析結果と、類似解析コードFRAME（面内）の解析結果を比較し、双方の解が一致することを確認している。</li> <li>・今回の工認申請で実施する骨組解析モデルによる断面力算出の用途、及び適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内にあることを確認している。</li> </ul>

### 3. FREMINGの解析手法について

#### 3.1 一般事項

本解析コードは、平面骨組解析用の解析コードである。今回は、緊急用海水ポンプピット及び防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））並びに貯留堰の骨組解析モデルの静的解析に用いている。

#### 3.2 解析コードの特徴

FREMINGの主な特徴を以下に示す。

- ① バイリニア，トリリニアの材料非線形性を考慮可能である。
- ② RC矩形断面に対応したM- $\phi$ 曲線のひび割れ等を計算するはり要素を設定可能である。
- ③ 荷重モデルでは，分布荷重，及び集中荷重を考慮することができる。
- ④ 地中構造物の耐震設計法として応答変位法に基づいて入力することができる。

### 3.3 解析理論

解析理論を以下に示す。

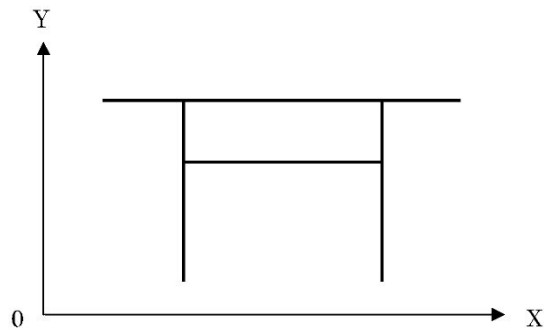
#### 3.3.1 座標系

##### (1) 基準座標系

基準座標系は、解析すべき骨組構造物を定義する座標系であり、

- ・ Y 軸 : 鉛直上向きを正
- ・ X 軸 : Y 軸と直交する直線の右方向を正

とする。



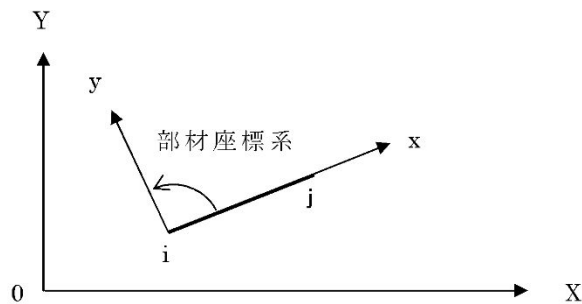
第3-1図 基準座標系

##### (2) 部材座標系

部材座標系は、構造物を構成する各部材にそれぞれ設定する。梁部材は、

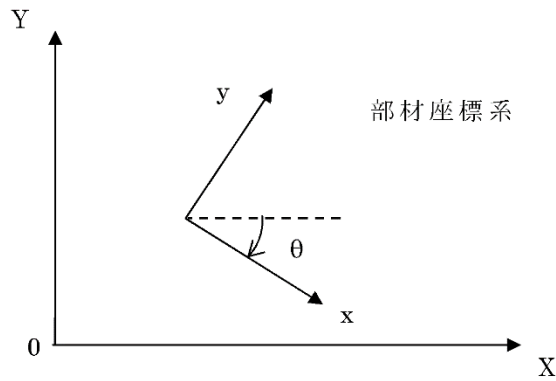
- ・ x 軸 : 部材を構成する節点  $i - j$  の  $i$  から  $j$  へ向かう方向を正
- ・ y 軸 : x 軸を  $i$  端基点で反時計廻り  $90^\circ$  の方向を正

とする。



第3-2図 梁部材座標系

バネ部材は、傾斜角を設定しない場合に基準座標系と一致する。  
傾斜角を設定する場合は時計廻りの方向を正として設定する。

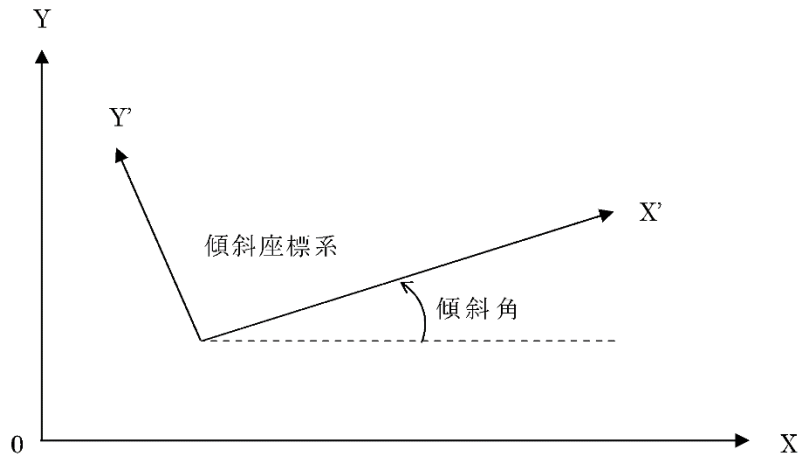


第3-3図 バネ部材座標系

(3) 傾斜座標系

傾斜座標系は、傾斜支点に設定する。

設定方法は、入力データにおいて傾斜角（基準座標系に対して反時計廻りを正とした角度）を指示することにより行う。



第3-4図 傾斜座標系



## 3.3.2 要素剛性

## (1) 材端変位, 材端力

断面形状が一定の部材の力と変位の関係を式で表すと式 (3.1) のようになる。

$$\{\bar{\mathbf{f}}\} = [\bar{\mathbf{k}}] \cdot \{\bar{\mathbf{d}}\} \quad (3.1)$$

材端力

$$\{\bar{\mathbf{f}}\} = \begin{Bmatrix} N_i \\ S_i \\ M_i \\ N_j \\ S_j \\ M_j \end{Bmatrix} \quad (3.2)$$

材端変位

$$\{\bar{\mathbf{d}}\} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_i \\ u_j \\ v_j \\ \theta_j \end{Bmatrix} \quad (3.3)$$

ただし,

$N_i$  ,  $N_j$  : x 軸方向力 (軸力), x 軸廻りモーメント (ねじりモーメント)

$S_i$  ,  $S_j$  : y 軸方向力 (せん断力), z 軸方向力 (せん断力)

$M_i$  ,  $M_j$  : z 軸廻りのモーメント (曲げモーメント),  
y 軸廻りのモーメント (曲げモーメント)

$u_i$  ,  $u_j$  : x 軸方向の変位

$v_i$  ,  $v_j$  : y 軸方向の変位

$\theta_i$  ,  $\theta_j$  : z 軸廻りの回転角

(2) 梁要素

梁要素の要素剛性マトリックスを式 (3.4) のように示す。

$$[\bar{k}] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ \hline -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

面外は下線部分が  $GJ/L$  となる。

ただし,

E : 弾性係数 (kN/m<sup>2</sup>)

G : せん弾性係数 (kN/m<sup>2</sup>)

A : 断面積 (m<sup>2</sup>)

I : z 軸 (y 軸) 廻り断面二次モーメント (m<sup>4</sup>)

J : ねじり定数 (m<sup>4</sup>)

(3) スカラーバネ要素

スカラーバネ要素は，2 節点間の節点成分ごとの結合が可能な要素である。たとえば，節点 I の x 方向成分と，節点 J の x 方向成分をスカラーバネ要素で結合できる。スカラーバネ要素は，かけられた外力に比例して変位する。

スカラーバネ要素を使用すると対応する剛性行列は，結合する自由度を i と j とすると，式 (3.5) のようになる。

$$\begin{bmatrix}
 & & & i & & & & j & & & & \\
 & & & \cdot & & & & \cdot & & & & \\
 & & & \cdot & & & & \cdot & & & & \\
 \cdot & \cdot & \cdot & k & \cdot & \cdot & \cdot & -k & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 & & & \cdot & & & & \cdot & & & & \\
 & & & \cdot & & & & \cdot & & & & \\
 \cdot & \cdot & \cdot & -k & \cdot & \cdot & \cdot & k & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 & & & \cdot & & & & \cdot & & & & \\
 & & & \cdot & & & & \cdot & & & & \\
 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

ただし，

k : バネ値 (並進 : (kN/m), 回転 : (kN・m/rad.))

(4) 初期張力 (幾何剛性)

梁要素の初期張力 (F) を考慮する場合，式 (3.6) に示す剛性マトリックス  $\bar{s}$  を要素剛性マトリックス  $\bar{k}$  に付加する。

$$\begin{bmatrix}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \cdots & 6F/5L & F/10 & 0 & -6F/5L & F/10 \\
 \cdots & \cdots & 2LF/15 & 0 & -F/10 & -LF/30 \\
 \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 0 & 0 \\
 \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 6F/5L & -F/10 \\
 \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 2LF/15
 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Symmetric

ただし，

F : 初期張力 (kN)

L : 梁の部材長 (m)

(5) 弾性支承上梁

a. 部材軸方向

部材軸方向に力を受ける弾性支承上梁の剛性マトリックスを式 (3.7) に、荷重項を式 (3.8) に示す。

$$[\bar{k}] = \frac{EA\omega}{\sinh(\omega L)} \begin{bmatrix} \cosh(\omega L) & -1 \\ -1 & \cosh(\omega L) \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$[\bar{f}] = \left\{ \begin{array}{l} -\frac{1}{\sinh(\omega L)} \int_0^L \sinh(\omega(L-\eta)) \cdot P(\eta) d\eta \\ -\frac{1}{\sinh(\omega L)} \int_0^L \sinh(\omega\eta) \cdot P(\eta) d\eta \end{array} \right\} \quad (3.8)$$

ただし、

E : 弾性係数 (kN/m<sup>2</sup>)

A : 断面積 (m<sup>2</sup>)

L : 部材長 (m)

P(x) : 分布荷重値 (kN/m)

$\omega$  :  $\sqrt{\frac{k}{EA}}$

k : 地盤反力係数 (kN/m<sup>2</sup>)

注) 面外解析では、考慮されない。

b. 部材軸直交方向

部材軸直交方向に力を受ける弾性支承上梁の剛性マトリックスを式 (3.9) に、荷重項を式 (3.10) に示す。

$$[k] = \begin{bmatrix} 4EI\beta^3 \frac{sh \cdot ch + s \cdot c}{sh^2 - s^2} & 2EI\beta^2 \frac{sh^2 + s^2}{sh^2 - s^2} & -4EI\beta^3 \frac{ch \cdot s + sh \cdot c}{sh^2 - s^2} & 4EI\beta^2 \frac{sh \cdot s}{sh^2 - s^2} \\ 2EI\beta^2 \frac{sh^2 + s^2}{sh^2 - s^2} & 2EI\beta \frac{sh \cdot ch - s \cdot c}{sh^2 - s^2} & -4EI\beta^2 \frac{sh \cdot s}{sh^2 - s^2} & 2EI\beta \frac{ch \cdot s - sh \cdot c}{sh^2 - s^2} \\ -4EI\beta^3 \frac{ch \cdot s + sh \cdot c}{sh^2 - s^2} & -4EI\beta^2 \frac{sh \cdot s}{sh^2 - s^2} & 4EI\beta^3 \frac{sh \cdot ch + s \cdot c}{sh^2 - s^2} & -2EI\beta^2 \frac{sh^2 + s^2}{sh^2 - s^2} \\ 4EI\beta^2 \frac{sh \cdot s}{sh^2 - s^2} & 2EI\beta \frac{ch \cdot s - sh \cdot c}{sh^2 - s^2} & -2EI\beta^2 \frac{sh^2 + s^2}{sh^2 - s^2} & 2EI\beta^3 \frac{sh \cdot ch - s \cdot c}{sh^2 - s^2} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$$[\bar{f}] = \begin{bmatrix} \frac{-1}{sh^2 - s^2} \int_0^L [sh \cdot \{cosh(\beta(L-\eta)) \cdot \sin(\beta\eta) + sinh(\beta(L-\eta)) \cdot \cos(\beta\eta)\} - s \cdot \{\cos(\beta(L-\eta)) \cdot \sinh(\beta\eta) + \sin(\beta(L-\eta)) \cdot \cosh(\beta\eta)\}] \cdot P(\eta) d\eta \\ \frac{-1}{\beta(sh^2 - s^2)} \int_0^L [sh \cdot \{sinh(\beta(L-\eta)) \cdot \sin(\beta\eta) - s \cdot \sin(\beta(L-\eta)) \cdot \sinh(\beta\eta)\}] \cdot P(\eta) d\eta \\ \frac{-1}{sh^2 - s^2} \int_0^L [sh \cdot \{cosh(\beta\eta) \cdot \sin(\beta(L-\eta)) + sinh(\beta\eta) \cdot \cos(\beta(L-\eta))\} - s \cdot \{\cos(\beta\eta) \cdot \sinh(\beta(L-\eta)) + \sin(\beta\eta) \cdot \cosh(\beta(L-\eta))\}] \cdot P(\eta) d\eta \\ \frac{1}{\beta(sh^2 - s^2)} \int_0^L [sh \cdot \{sinh(\beta\eta) \cdot \sin(\beta(L-\eta)) - s \cdot \sin(\beta\eta) \cdot \sinh(\beta(L-\eta))\}] \cdot P(\eta) d\eta \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

ただし、

- $ch = \cosh(\beta L)$
- $sh = \sinh(\beta L)$
- $s = \sin(\beta L)$
- $c = \cos(\beta L)$
- $E$  : 弾性係数 (kN/m<sup>2</sup>)
- $I$  : 断面二次モーメント (m<sup>4</sup>)
- $L$  : 部材長 (m)
- $k$  : 地盤反力係数 (kN/m<sup>2</sup>)
- $P(x)$  : 分布荷重値 (kN/m)

$$\cdot \beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$$

### 3.3.3 全体剛性

#### (1) 座標変換

部材座標系  $(x, y)$  と基準座標系  $(X, Y)$  の座標変換マトリックスを  $[Te]$  とすると、次式が成り立つ。

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = [Te] \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} \quad (3.11)$$

ここに、

$$[Te] = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$L_{ij}$  : 方向余弦

式 (3.12) を用いることにより、基準座標系での剛性マトリックス  $[k]$  が求められる。

まず、基準座標系での変位ベクトルを  $\{d\}$ 、断面力を  $\{f\}$  とすると、次式が成り立つ。

$$\{\bar{d}\} = [T] \cdot \{d\} \quad (3.13)$$

$$\{\bar{f}\} = [T] \cdot \{f\} \quad (3.14)$$

$$\text{ここに } [T] = \begin{bmatrix} Te & 0 \\ 0 & Te \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

式 (3.1) に、(3.13)、(3.14) を代入すると

$$\begin{aligned} [T] \{f\} &= [\bar{k}] [T] \{d\} \\ \{f\} &= [T]^T [\bar{k}] [T] \{d\} \\ &= [k] \{d\} \end{aligned} \quad (3.16)$$

すなわち、基準座標系に関する剛性マトリックスは、式 (3.17) で表す。

$$[k] = [T]^T [\bar{k}] [T] \quad (3.17)$$

(2) 傾斜座標変換

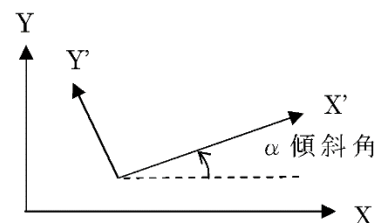
基準座標系 (X, Y) と傾斜座標系 (X', Y') の座標変換マトリックスを [Te'] とすると、次式が成り立つ。

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} = [Te'] \begin{Bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{Bmatrix} \quad (3.18)$$

ここに

$$[Te'] = \begin{Bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad (3.19)$$

$\alpha$  = 傾斜角



第3-5図 傾斜座標系

式 (3.18) を用いることにより、傾斜座標系での剛性マトリックス [k'] が求められる。

まず、傾斜座標系での変位ベクトルを {d'}, 断面力を {f'} とすると、次式が成り立つ。

$$\{d\} = [T'] \cdot \{d'\} \quad (3.20)$$

$$\{f\} = [T'] \cdot \{f'\} \quad (3.21)$$

$$\text{ここに } [T'] = \begin{bmatrix} Te' & 0 \\ 0 & Te' \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

式 (3.16) に、式 (3.20)、式 (3.21) を代入すると

$$[T'] \{f'\} = [k] [T'] \{d'\}$$

$$\begin{aligned} \{f'\} &= [T']^T [k] [T'] \{d'\} \\ &= [k'] \{d'\} \end{aligned} \quad (3.23)$$

すなわち、傾斜座標系に関する剛性マトリックスは、式 (3.24) で表す。

$$[k'] = [T']^T [k] [T'] \quad (3.24)$$

(3) 全体剛性マトリックス

構造物全体の {U} と力 {F} を関連づける剛性方程式は，式 (3.25) にて表す。

$$\{F\} = [K] \{U\} \quad (3.25)$$

ここで，

[K] : 全体剛性マトリックス

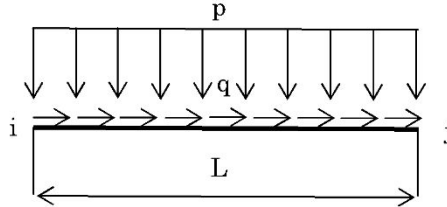
この全体剛性マトリックスは，各部材ごとに求めた剛性マトリックスを重ね合わせる  
ことにより求められる。



### 3.3.4 荷重

#### (1) 等価節点力

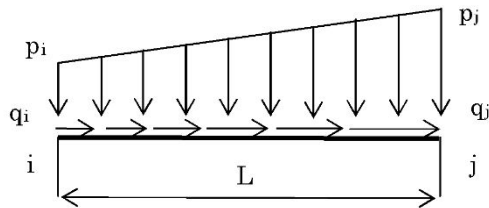
##### a. 全面等分布荷重



第3-1表 満載分布荷重

	軸力	せん断力	モーメント
i端	$-\frac{qL}{2}$	$-\frac{pL}{2}$	$-\frac{pL^2}{12}$
j端	$-\frac{qL}{2}$	$-\frac{pL}{2}$	$\frac{pL^2}{12}$

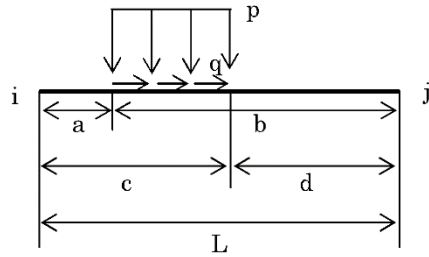
##### b. 全面不等分布荷重



第3-2表 直線分布荷重

	軸力	せん断力	モーメント
i端	$-\frac{L(2q_i + q_j)}{6}$	$-\frac{L(7p_i + 3p_j)}{20}$	$-\frac{L^2(3p_i + 2p_j)}{60}$
j端	$-\frac{L(q_i + 2q_j)}{6}$	$-\frac{L(3p_i + 7p_j)}{20}$	$\frac{L^2(2p_i + 3p_j)}{60}$

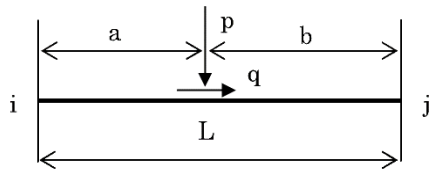
c. 部分等分布荷重



第3-3表 等分布荷重

	軸力	せん断力	モーメント
i端	$-\frac{q(b^2-d^2)}{2L}$	$\frac{-p}{2L^3} \cdot [2L(b^3-d^3)-(b^4-d^4)]$	$\frac{-p}{12L^2} \cdot [4L(b^3-d^3)-3(b^4-d^4)]$
j端	$-\frac{q(c^2-a^2)}{2L}$	$\frac{-p}{2L^3} \cdot [2L(c^3-a^3)-(c^4-a^4)]$	$\frac{p}{12L^2} \cdot [4L(c^3-a^3)-3(c^4-a^4)]$

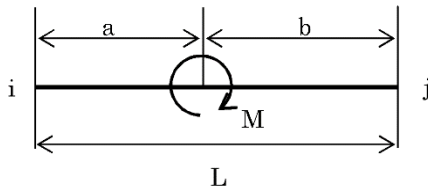
d. 集中荷重



第3-4表 集中荷重

	軸力	せん断力	モーメント
i端	$-\frac{qb}{L}$	$-\frac{pb^2(L+2a)}{L^3}$	$-\frac{pab^2}{L^2}$
j端	$-\frac{qa}{L}$	$-\frac{pa^2(L+2b)}{L^3}$	$\frac{pa^2b}{L^2}$

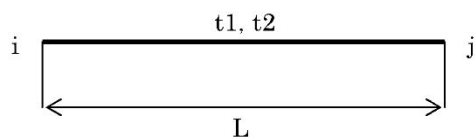
e. 集中モーメント荷重



第3-5表 集中モーメント荷重

	軸力	せん断力	モーメント
i端	—	$\frac{6Mab}{L^3}$	$\frac{Mb(2L-3b)}{L^2}$
j端	—	$-\frac{6Mab}{L^3}$	$\frac{Ma(2L-3a)}{L^2}$

f. 温度上昇



第3-6表 温度荷重

	軸力	せん断力	モーメント
i端	$\alpha(t1+t2)/2 \cdot E A$	————	$\alpha(t1-t2) \cdot hEI$
j端	$-\alpha(t1+t2)/2 \cdot E A$	————	$-\alpha(t1-t2) \cdot hEI$

注) 面外解析では考慮されない。

ただし,

- $\alpha$  : 線膨張係数
- $E$  : 弾性係数 (kN/m<sup>2</sup>)
- $A$  : 断面積 (m<sup>2</sup>)
- $I$  : 断面二次モーメント (m<sup>4</sup>)
- $h$  : 断面高さ (m)
- $t 1$  : 上面温度 (°C)
- $t 2$  : 下面温度 (°C)

(2) 支点移動

第3-6図のように、支点のあるものが移動した場合、次式が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U \\ U_0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ R_0 \end{Bmatrix} \quad (3.26)$$

ここで、

$K_{11}$  : 構造物の全体剛性マトリックス

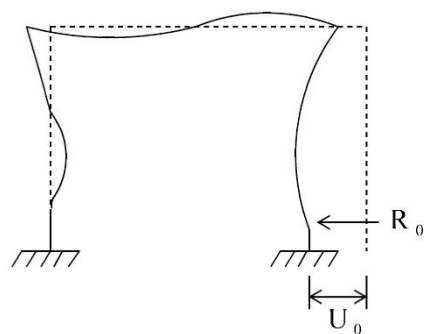
$K_{12}$  : 支点移動を起こした方向のバネ定数を含む全体剛性マトリックスの列の要素

$K_{21}$  :  $K_{12}$

$K_{22}$  : 支点移動を起こした方向のバネ定数

$U_0$  : 支点の移動量

$R_0$  : 支点移動の作用外力



第3-6図 支点移動のある場合

式 (3.26) を展開し、支点移動を起こした方向のバネ定数を含む全体剛性マトリックスの列の要素に移動量をかけ、符号を変えて右边に廻し荷重項とする。

$$K_{11} \cdot U + K_{12} \cdot U_0 = 0 \quad (3.27)$$

$$K_{11} \cdot U = -K_{12} \cdot U_0 \quad (3.28)$$

いま、 $K_{11} \rightarrow [K]$ ,  $U \rightarrow \{U\}$ ,  $-K_{12} \cdot U_0 \rightarrow \{F\}$  とすれば、式 (3.28) は式 (3.25) となる。

### 3.3.5 連立方程式の解法

#### (1) コレスキー分解

式 (3.25) にて表される連立方程式を *Cholesky* 法で解き，節点の変位を求められる。

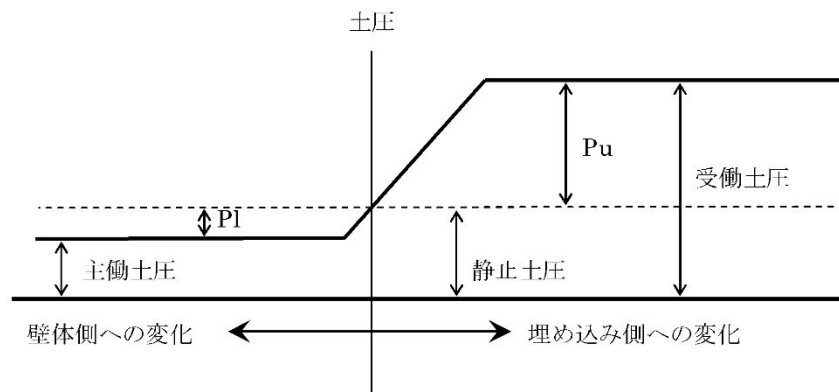
ここでは，以下のように剛性マトリックスを *LDL<sup>T</sup>* 分解して解く。

$$\begin{aligned}
 [K] \{U\} &= \{F\} \\
 [L] [D] [L]^T \{U\} &= \{F\} \\
 [D] [L]^T \{U\} &= [L]^T \{F\} \\
 \{U\} &= [L] [D]^{-1} [L]^T \{F\}
 \end{aligned}
 \tag{3.29}$$

#### (2) ノーテンション解析

##### a. バネの非線形解析 (NO-TENSION)

一般に，壁体の移動による土圧の変化は，下図に示すような非線形性を示す。



第3-7図 土圧変化図

上図は，地中構造物が荷重を受けて変化しても，その変位がある一定以上になれば，土圧は変化しないことを示す。

本システムでは，節点に集中バネを配置し，静土圧を基準としたところからのバネの反力（土圧増減量）を求めることができる。

b. 処理手順

①各節点の変位  $\delta$  を求める。

②極限值のチェックを行う。

(イ)  $P_l \leq K(\delta - \delta_G) \leq P_u$  のとき, 何も行わない。

(ロ)  $K(\delta - \delta_G) < P_l$  のとき,  
 $K=0.0$  とし, 極限でおさえたバネ反力を荷重項に加える。

(ハ)  $K(\delta - \delta_G) > P_u$  のとき,  
 $K=0.0$  とし, 極限でおさえたバネ反力を荷重項に加える。

③収束判定

(イ) 一つでもバネがクリアーされていれば, ①へ戻る。

(ロ) すべての非線形バネが変化しなかった場合は処理終了。

(ハ) すべての非線形バネがクリアーされた場合は処理中断。

## (3) 応答変位法解析

骨組モデルを用いる応答変位法は、地震時に生じる地下構造物の応力を、地盤の変位を構造物に与えることによって静的に計算しようとする耐震設計法であり、当初線状地下構造物が地震によって軸直角方向に曲がったり、軸方向に伸びたり縮んだりする横断方向の動きに対する耐震計算法として用いられていた。

その後、比較的規模の大きい地下構造物や線状地下構造物の横断方向の耐震設計法として震度法に代わって用いられるようになった。

骨組モデルによる応答変位法の解析手順として

- ① 地震時の地盤変位，地盤剛性，せん断応力，加速度などを算出する。
- ② 骨組モデルを作成する。
- ③ 地盤剛性を用い地盤バネを算定する。
- ④ 地震時荷重を算定する。
- ⑤ 骨組モデルに地震時荷重を載荷して，地震による断面力を求める。

⑤を定式化すると以下のとおりに表すことができる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{SS} & \mathbf{K}_{SG} \\ \mathbf{K}_{GS} & \mathbf{K}_{GG} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_S \\ \mathbf{u}_G \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_S \\ \mathbf{F}_G \end{Bmatrix} \quad (3.30)$$

ただし，

$\mathbf{K}_{SS}$  : 構造物の剛性，地盤～構造物間バネから成る剛性マトリックス

$\mathbf{K}_{SG}, \mathbf{K}_{GS}$  : 地盤～構造物間バネから成る剛性マトリックス

$\mathbf{K}_{GG}$  : 地盤～構造物間バネを対角項にもつ剛性マトリックス

$\mathbf{u}_S$  : 構造物の変位ベクトル

$\mathbf{u}_G$  : 地盤の変位ベクトル

$\mathbf{F}_S$  : 構造物の外力ベクトル

$\mathbf{F}_G$  : 地盤の外力ベクトル

いま，この構造系には外力が作用しないとした場合， $\mathbf{F}_S = \mathbf{F}_G = 0$

地盤変位  $\mathbf{u}_G$  は既知であるから，

$$[\mathbf{K}_{GG}] \cdot \{\mathbf{F}_S\} + [\mathbf{K}_{SG}] \cdot \{\mathbf{u}_G\} = \{0\} \quad (3.31)$$

$$\{\mathbf{u}_G\} = -[\mathbf{K}_{GG}]^{-1} [\mathbf{K}_{SG}] \cdot \{\mathbf{u}_G\} \quad (3.32)$$

式 (3.32) より，構造物の変位を求めることができる。

(4) 部材断面力, 支点反力

$$\{f\} = [k] \{U\} - \{Pe\} \quad (3.33)$$

ここで,

$$[k] = [\bar{k}] [T]$$

- $\{f\}$  : 部材断面力
- $\{U\}$  : 基準座標系での節点変位
- $[\bar{k}]$  : 部材剛性マトリックス
- $[T]$  : 座標変換マトリックス
- $\{Pe\}$  : 内力 (等分布荷重を受ける場合)

また, 支点反力は, 支点を構成する部材の断面力及び部材の重量を考慮して求める。



(5) 静的非線形解析

解析モデルを増分法で表すと次式のようなになる。

ただし、増分  $\Delta$  は、荷重増分ピッチ内の計算を意味する。

$$K \cdot \Delta u = \Delta F \tag{3.34}$$

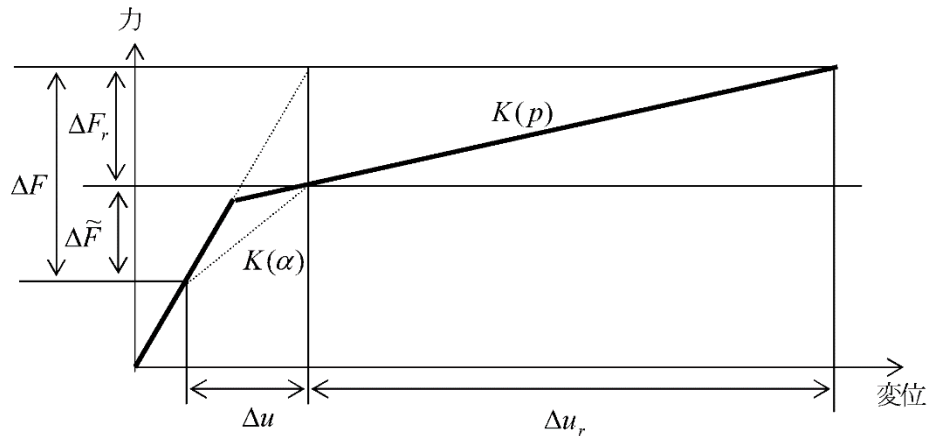
ここで、

$K$  : 荷重増分における構造物の剛性マトリックス

$\Delta u$  : 構造物の変位増分

$\Delta F$  : 外力増分

式 (3.34) を解くことにより、応答変位増分  $\Delta u$  を求めることができる。しかし、外力増分  $\Delta F$  において剛性  $K$  が変化した場合、構造系には不平衡力  $\Delta F_r$  が生じることになる。



第3-8図 力と変位の関係

$$\Delta F_r = \Delta F - \Delta \tilde{F} \tag{3.35}$$

ここで、

$$\Delta \tilde{F} = \tilde{K} \cdot \Delta u \tag{3.36}$$

$\tilde{K}$  : 修正された剛性マトリックス

$\Delta F_r$  : 不平衡力

$\Delta \tilde{F}$  : 構造系内で実際に作用している外力増分による力

この不平衡力  $\Delta F_r$  を消去するために式 (3.37) を用いて同様な計算をし、変位誤差が十分小さくなるまで繰り返し行い、誤差を消去していく。

$$\tilde{K} \cdot \Delta \tilde{u} = \Delta F_r \tag{3.37}$$

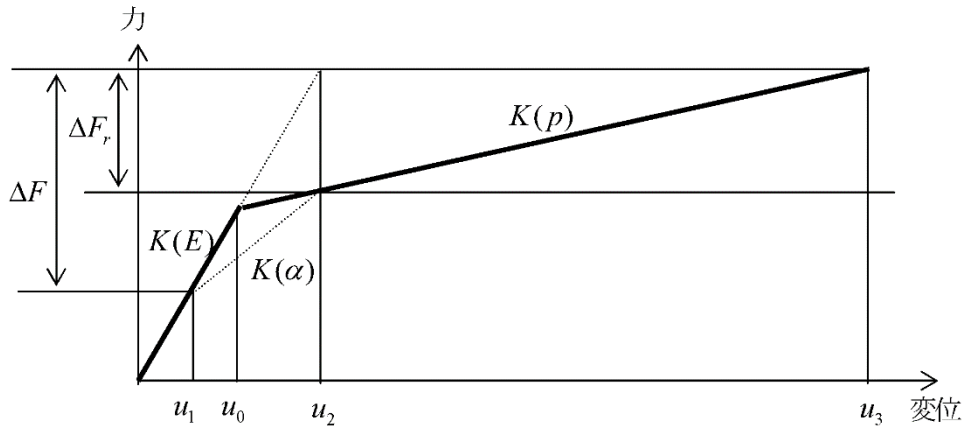
ここで、

$\Delta \tilde{u}$  : 不平衡力  $\Delta F_r$  に相当する構造物変位増分

このようにして求めた  $\Delta \tilde{u}$  を累積し、構造物変位を求める。

$$\Delta u = \Delta u + \sum (\Delta \tilde{u}) \quad (3.38)$$

<不平衡力 ( $\Delta F_r$ ) 計算時バネ値>



第3-9図 力と変位の関係

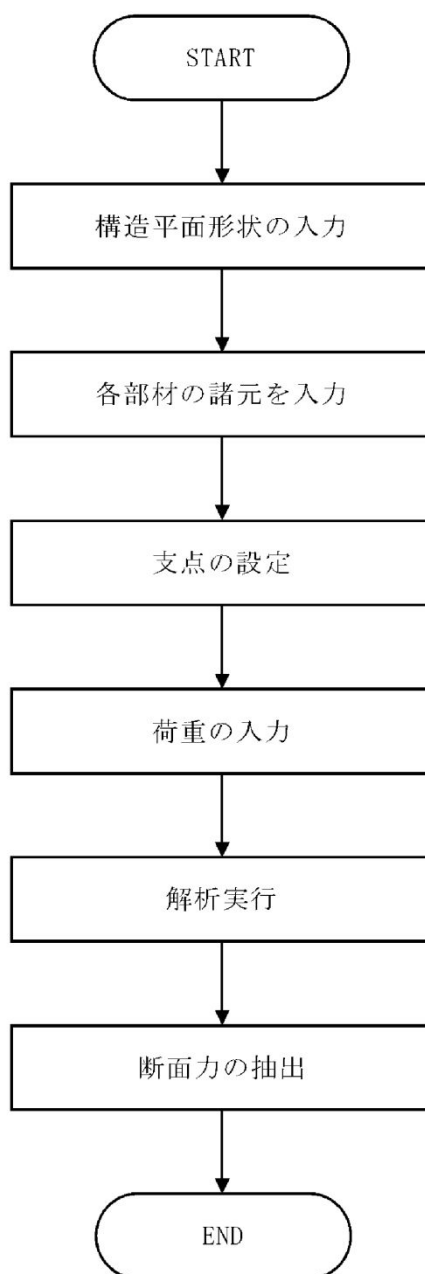
式(3.36)で定義している  $\tilde{K}$  は、バネが変化した時の不平衡力 ( $\Delta F_r$ ) を求めるための剛性である。

その時のバネ値  $K(\alpha)$  を次のように定義する。

$$\alpha = \frac{u_0 - u_1}{u_2 - u_1} \quad (3.39)$$

$$K(\alpha) = \alpha \cdot K(E) + (1 + \alpha) \cdot K(p) \quad (3.40)$$

3.4 解析フローチャート  
解析フローチャートを以下に示す。



第3-10図 解析フローチャート

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

本解析コードを今回の解析に用いるに当たり、検証として構造力学公式集（土木学会，1994）による理論解との比較を，また，妥当性確認として類似解析コードとの比較を実施した。その詳細な内容については以下のとおりとする。

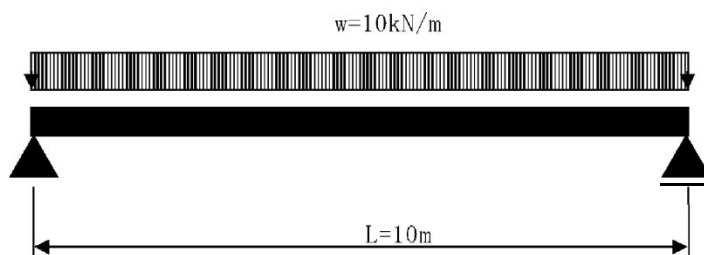
#### 3.5.1 検証 (Verification)

単純はりを対象として，構造力学公式集に基づいた断面力及びたわみを算出し，FREMING との解析結果を比較することで検証を行った。その結果，構造力学公式集による理論値と本解析コードの解析結果は一致した。

##### (1) 単純はりの概要

$L=10$  m のスパンに設置した支点上に H 型鋼材 (H-300×300×10×15) の単純はりを仮定する。作用荷重は，鉛直方向に  $w=10$  kN/m の等分布荷重が載荷された状態を想定する。

なお，境界条件は，ピン支承及びローラー支承とする。



第3-11図 検証に用いる単純はり

##### (2) H型鋼材 (H-300×300×10×15) の断面諸元

H 型鋼材 (H-300×300×10×15) の断面諸元を以下に示す。

断面二次モーメント :  $I = 0.000202$  ( $\text{m}^4$ )  
ヤング係数 :  $E = 2.0 \times 10^8$  ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

(3) 構造力学公式集に基づく理論解の算出

構造力学公式集に基づいて算出した、はりに作用する最大曲げモーメント $M_{max}$ 、最大せん断力 $Q_{max}$ 、及び最大たわみ $\delta_{max}$ を示す。

【最大曲げモーメント】

$$M_{max} = \frac{wL^2}{8} = \frac{10 \times 10^2}{8} = 125.0 (\text{kN} \cdot \text{m})$$

【最大せん断力】

$$Q_{max} = \frac{wL}{2} = \frac{10 \times 10}{2} = 50.0 (\text{kN})$$

【最大たわみ】

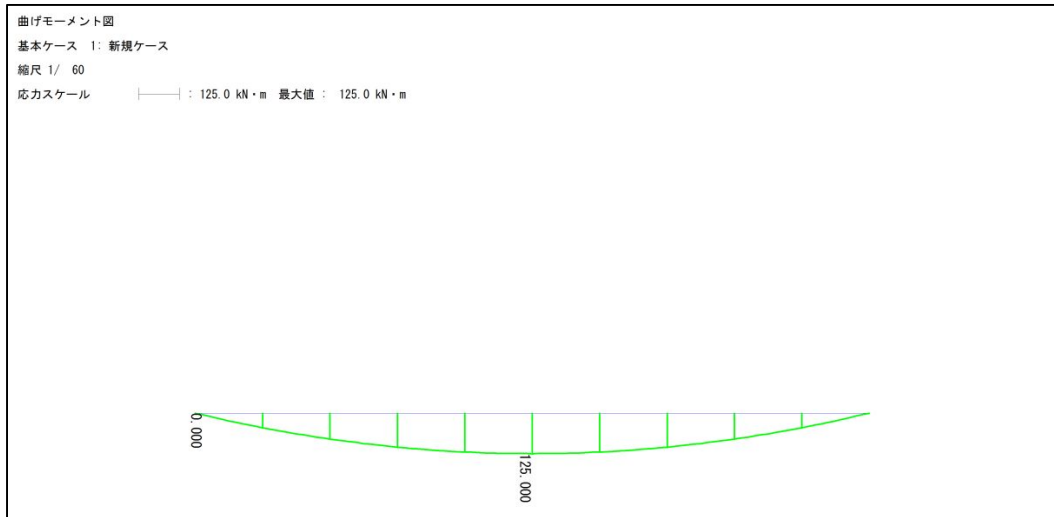
$$\delta_{max} = \frac{5wL^4}{384EI} = \frac{5 \times 10 \times 10^4}{384 \times 2.0 \times 10^8 \times 0.00202} = 0.003223 (\text{m}) = 3.223 (\text{cm})$$

(4) FREMINGによる解析結果

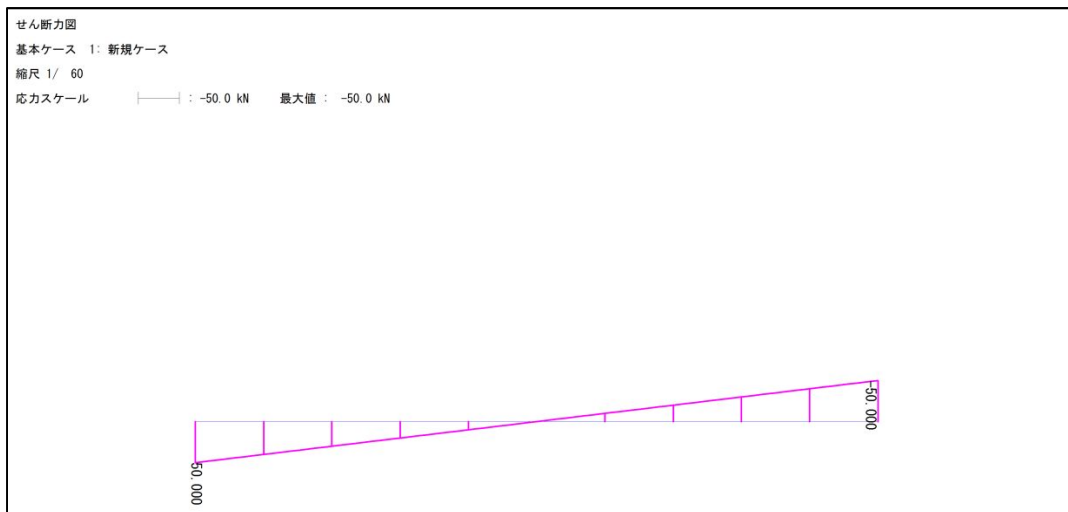
FREMING の解析結果を以下に示す。

第3-7表 解析結果 (FREMING)

構成節点	曲げモーメント (kN・m)	せん断力 (kN)	たわみ (cm)
1	0.0	50.0	0.000
2	45.0	40.0	1.012
3	80.0	30.0	1.914
4	105.0	20.0	2.621
5	120.0	10.0	3.069
6	125.0	0.0	3.223
7	120.0	-10.0	3.069
8	105.0	-20.0	2.621
9	80.0	-30.0	1.914
10	45.0	-40.0	1.012
11	0.0	-50.0	0.000
<b>最大値</b>	<b>125.0</b>	<b>50.0</b>	<b>3.223</b>

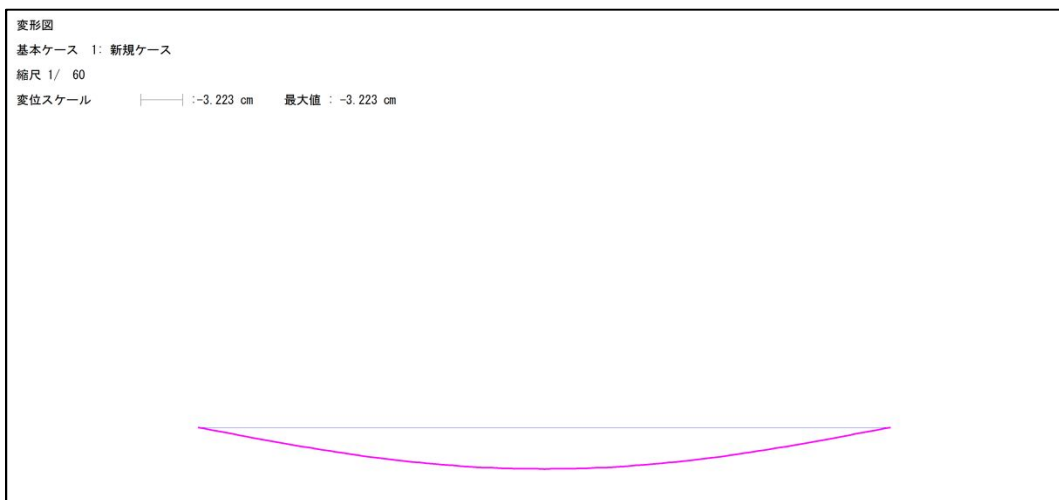


(a) 曲げモーメント



(b) せん断力

第3-12図 断面力図

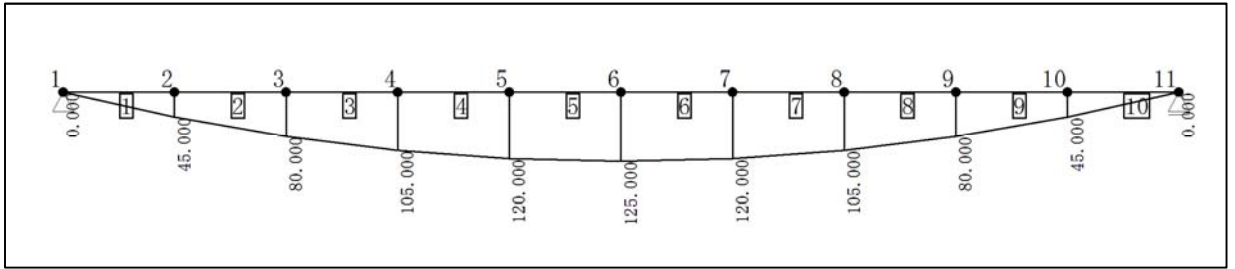


第3-13図 変形図

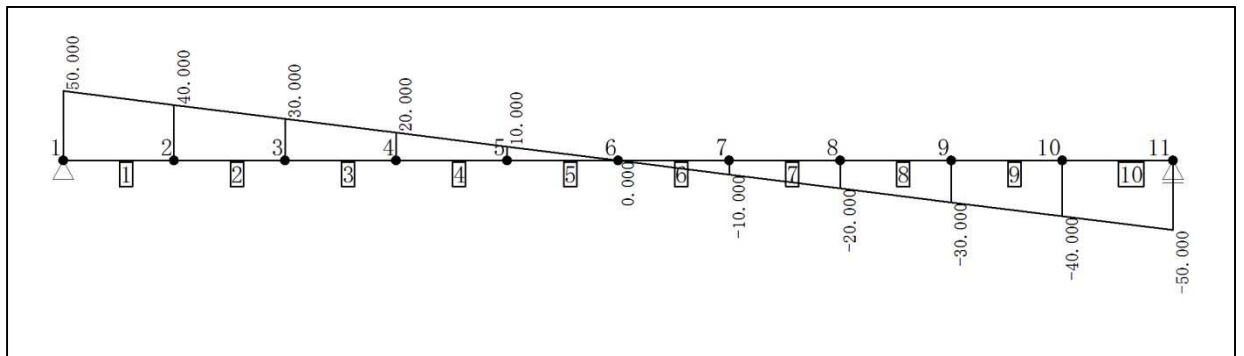
### 3.5.2 妥当性確認 (Validation)

類似解析コードFRAME (面内) を用いた解析結果と比較し、本解析コードFREMINGの妥当性を確認する。

本解析コードFREMINGとFRAME (面内) の解析結果が一致することを確認した。

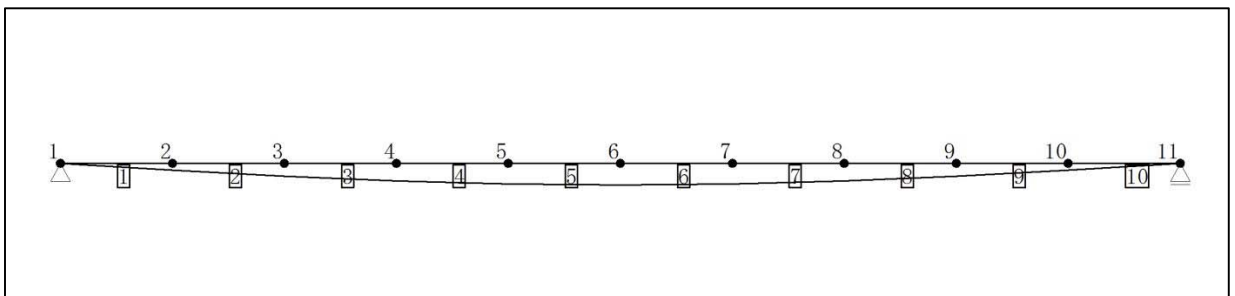


(a) 曲げモーメント



(b) せん断力

第3-14図 断面力図



第3-15図 変形図

第3-8表 解析結果 (FRAME (面内))

構成 節点	曲げ モーメント (kN・m)	せん断力 (kN)	たわみ (cm)
1	0.0	50.0	0.000
2	45.0	40.0	1.012
3	80.0	30.0	1.914
4	105.0	20.0	2.621
5	120.0	10.0	3.069
6	125.0	0.0	3.223
7	120.0	-10.0	3.069
8	105.0	-20.0	2.621
9	80.0	-30.0	1.914
10	45.0	-40.0	1.012
11	0.0	-50.0	0.000
<b>最大値</b>	<b>125.0</b>	<b>50.0</b>	<b>3.223</b>



### 3.5.3 評価結果

第3-9表に示すとおり，検証の結果，本解析コードFREMINGの解析結果は，構造力学公式集による理論解，及び類似解析コードFRAME（面内）の解析結果と一致することを確認した。

以上より，本解析コードFREMINGの解析結果は，応力度照査に用いる断面力において，構造力学公式集による計算結果と一致しており，類似解析コードとの整合性も良好である。したがって，本解析コードを構造物の断面力算定に適用することは妥当といえる。

第3-9表 理論解と解析結果の比較

断面力	理論解 (構造力学公式集)	解析結果 (FREMING)	解析結果 (FRAME (面内) )
$M_{max}$ (kN・m)	125.0	125.0	125.0
$Q_{max}$ (kN)	50.0	50.0	50.0
$\delta_{max}$ (cm)	3.223	3.223	3.223



東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-675 改2
提出年月日	平成30年9月20日

V-5-43 計算機プログラム（解析コード）の概要・RC断面計算

## 目次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3

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）RC断面計算について説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-13	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-2-21	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-2-25	可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-2-27	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-2-29	代替淡水貯槽の耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-2-31	常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-2-33	S A用海水ピットの耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-2-35	緊急用海水ポンプピットの耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-2-37	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-2-39-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-2-39-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-10-4-2	S A用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-2-11-2-9	海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の耐震性についての計算書	Ver. 8.0.5
V-3-別添1-1-10-1	建屋及び構造物の強度計算書	Ver. 8.0.5
V-3-別添3-2-1-1	防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書	Ver. 8.0.5
V-3-別添3-2-1-2-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の強度計算書	Ver. 8.0.5
V-3-別添3-2-1-2-2	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の強度計算書	Ver. 8.0.5
V-3-別添3-2-1-3	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の強度計算書	Ver. 8.0.5
V-3-別添3-2-1-4	防潮扉の強度計算書	Ver. 8.0.5
V-3-別添3-2-3	構内排水路逆流防止設備の強度計算書	Ver. 8.0.5

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 RC断面計算
使用目的	鉄筋コンクリートの応力度計算
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	1998年
使用したバージョン	Ver. 8.0.5
コードの概要	RC断面計算は、様々な断面形状を持つ鉄筋コンクリート断面に対する応力度計算用に開発された解析コードである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、鉄筋コンクリート部材の応力解析で使用している。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードを用いた応力度解析解と、弾性理論に基づく理論式から求めた理論解を比較し、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></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"> <li>・今回の解析に本解析コードを使用することの妥当性は、前述の検証の中で確認している。</li> <li>・九州電力株式会社の「玄海原子力発電所第3号機」において、海水管ダクト堅坑、海水戻り管堅坑、大容量空冷式発電機エリア基礎の鉄筋コンクリートの応力解析（断面照査）に本コード（Ver. 5.02.04）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画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。</li> <li>・本工事計画における構造に適用する要素、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。</li> </ul>





本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-676 改3
提出年月日	平成30年9月20日

#### V-5-44 計算機プログラム（解析コード）の概要・R E S P O N S E

## 目次

1.	はじめに	1
1.1	使用状況一覧	2
2.	解析コードの概要（土木分）	3
3.	解析コードの検証	4
3.1	検証方法	4
3.2	諸元	4
3.3	結果比較	10
4.	解析コードの概要（建物，構築物関連）	12
5.	解析コードの検証	13
5.1	RESP-T の解析手法について	13

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）RESP-T について説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-37	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の耐震性についての計算書	Ver. 5.1.3.4
V-3-別添 3-2-1-3	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の強度計算書	Ver. 5.1.3.4
V-3-別添 3-2-1-4	防潮扉の強度計算書	Ver. 5.1.3.4
V-3-別添 3-2-3	構内排水路逆流防止設備の強度計算書	Ver. 5.1.3.4
V-2-11-2-13	サービス建屋の耐震性についての計算書	Ver. 5.1.2.2

## 2. 解析コードの概要（土木分）

項目 \ コード名	RESP-T
使用目的	2次元はりモデルによる静的解析
開発機関	株式会社構造計画研究所
開発時期	1989年
使用したバージョン	Ver. 5.1.3.4
コードの概要	<p>(株)構造計画研究所によって開発され保守されている建築・土木構造物等の構造解析用の汎用市販コードである。</p> <p>建屋、機器及び配管を含む3次元構造物を、はり要素、配管要素、平面要素（面内要素）及びバネ要素に置換して、静的・動的非線形解析（応答解析を含む）を行うものである。</p>
検証（Verification）及び 妥当性確認（Validation）	<p>RESP-T Ver. 5.1.3.4は、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の2次元フレームモデルを対象とした静的解析に使用している。</p> <p><b>【検証（Verification）】</b></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"> <li>・本解析コードによる解析解と、既工事計画において実績のある別コード（Femap with NX Nastran）による解析解が一致することを確認している。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認（Validation）】</b></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"> <li>・本解析コードは、建築、土木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。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する2次元はり要素による静的フレーム解析が本解析コードで適用できることを確認している。</li> <li>・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、開発機関から提示された範囲内であることを確認している。</li> <li>・本工事計画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異なるが、使用する機能に変更はないことを確認している。</li> </ul>

### 3. 解析コードの検証

#### 3.1 検証方法

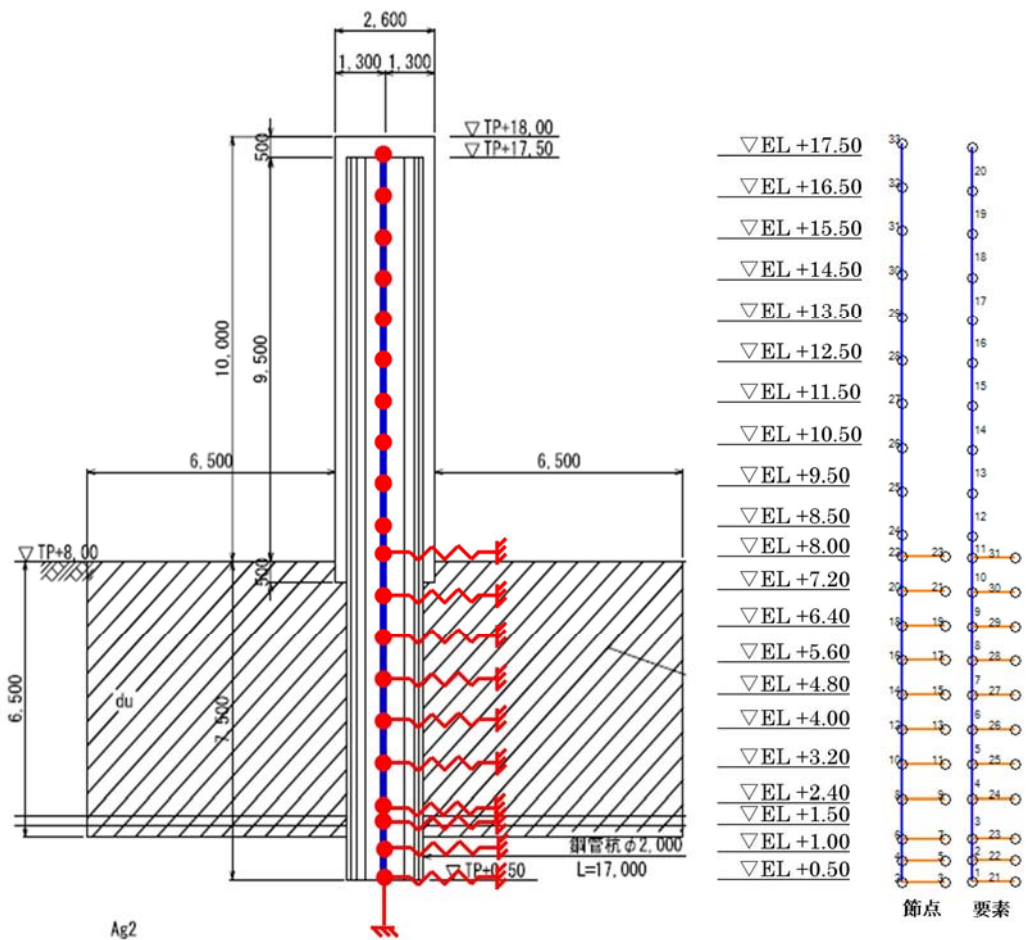
RESP-T Ver.5.1.3.4 と Femap with NX Nastran Ver.10.2 で2次元静的フレーム解析の結果を比較する。

#### 3.2 諸元

##### 3.2.1 検証モデル

モデル化の条件：

- ・ T.P. + 0.0 = EL. + 0.0
- ・ はり要素(線形)及び地盤バネ(非線形)を用いる。
- ・ 被覆コンクリートは剛性を考慮せず、荷重のみを節点荷重として入力する。
- ・ 鋼管内は地表面より上は空洞、地表面より下は周辺地盤が詰まっているものとし、その剛性は考慮しない。
- ・ 杭間は2.3mとする。



第3-1図 2次元フレーム解析モデル

### 3.2.2 検証ケース

検証ケースを第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 検証ケース

ケース	長期荷重		地震		津波	風	漂流物	動水圧	その他	地盤バネの評価		備考
	死荷重	積雪・降灰	本震	余震						算定法	上限値	
津波時	○	○			○		○		○	静的地盤バネ	ピーク強度より算定	津波遡上 高さ T. P. +18.0m

### 3.2.3 入力荷重

#### (1) 長期荷重

##### a. 死荷重

死荷重は被覆コンクリート、鋼管及び杭体内の土の重量とし、各節点の節点荷重とする。

##### b. 積雪

積雪は被覆コンクリートの水平面のみ作用するものとし、天端の節点の節点荷重とする。

##### c. 降灰

降灰は被覆コンクリートの水平面のみ作用するものとし、天端の節点の節点荷重とする。

長期荷重の節点荷重を第 3-2 表に示す。

第 3-2 表 長期荷重の節点荷重

T. P. (m)	支配 長さ (m)	天端コン 節点荷重 (kN)	被覆コン 節点荷重 (kN)	鋼管 節点 荷重 (kN)	地盤 改良層 荷重 (kN)	Ag2 層 荷重 (kN)	積雪 節点 荷重 (kN)	降灰 節点 荷重 (kN)
17.50	0.50	-73.26	-34.77	-5.97	0.00	0.00	-3.83	-35.19
16.50	1.00	0.00	-69.54	-11.94	0.00	0.00	0.00	0.00
15.50	1.00	0.00	-69.54	-11.94	0.00	0.00	0.00	0.00
14.50	1.00	0.00	-69.54	-11.94	0.00	0.00	0.00	0.00
13.50	1.00	0.00	-69.54	-11.94	0.00	0.00	0.00	0.00
12.50	1.00	0.00	-69.54	-11.94	0.00	0.00	0.00	0.00
11.50	1.00	0.00	-69.54	-11.94	0.00	0.00	0.00	0.00
10.50	1.00	0.00	-69.54	-11.94	0.00	0.00	0.00	0.00
9.50	1.00	0.00	-69.54	-11.94	0.00	0.00	0.00	0.00
8.50	0.75	0.00	-52.16	-8.96	0.00	0.00	0.00	0.00
8.00	0.65	0.00	-52.16	-7.76	-23.89	0.00	0.00	0.00
7.20	0.80	0.00	0.00	-9.56	-47.78	0.00	0.00	0.00
6.40	0.80	0.00	0.00	-9.56	-47.78	0.00	0.00	0.00
5.60	0.80	0.00	0.00	-9.56	-47.78	0.00	0.00	0.00
4.80	0.80	0.00	0.00	-9.56	-47.78	0.00	0.00	0.00
4.00	0.80	0.00	0.00	-9.56	-47.78	0.00	0.00	0.00
3.20	0.80	0.00	0.00	-9.56	-47.78	0.00	0.00	0.00
2.40	0.85	0.00	0.00	-10.15	-50.77	0.00	0.00	0.00
1.50	0.70	0.00	0.00	-8.36	-26.88	-14.72	0.00	0.00
1.00	0.50	0.00	0.00	-8.96	0.00	-44.15	0.00	0.00
0.50	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00



(2) 短期荷重

a. 設計波圧

各節点に作用する波圧は以下の計算により算出する。堤体外側から作用するものとする。

b. 漂流物

漂流物による荷重は道路橋示方書の式により算出する。堤体に対して最も厳しい評価とするため、津波が堤体高さまで遡上しているとし、上端の節点のみに漂流物の全荷重を被覆コンクリート面に垂直に作用させる。方向は堤外側からとする。

第 3-3 表 津波の節点荷重

T. P. (m)	支配長さ (m)	設計波圧 節点荷重 (kN)	漂流物 節点荷重 (kN)
17.50	0.50	127.78	180.00
16.50	1.00	151.01	0.00
15.50	1.00	174.24	0.00
14.50	1.00	197.47	0.00
13.50	1.00	220.70	0.00
12.50	1.00	243.94	0.00
11.50	1.00	267.17	0.00
10.50	1.00	290.40	0.00
9.50	1.00	313.63	0.00
8.50	0.75	250.47	0.00
8.00	0.65	86.39	0.00
7.20	0.80	0.00	0.00
6.40	0.80	0.00	0.00
5.60	0.80	0.00	0.00
4.80	0.80	0.00	0.00
4.00	0.80	0.00	0.00
3.20	0.80	0.00	0.00
2.40	0.85	0.00	0.00
1.50	0.70	0.00	0.00
1.00	0.50	0.00	0.00
0.50	0.25	0.00	0.00

### 3.2.4 地盤バネ

2次元静的フレーム解析に用いる地盤バネは「道路橋示方書・同解説 IV下部構造物」の「9.6.2 地盤力反力係数」及び「12.10.4 断面力、杭頭反力及び変位の計算(2)の2)」に従い水平方向地盤反力係数を求め、さらに「11.5.2 地盤反力の上限值」と同じく「12.10.4 断面力、杭頭反力及び変位の計算(2)の2)」により上限値を設定するバイリニア型とする。

第3-4表 地盤バネ

T. P. (m)	H (m)	$E_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\alpha E_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	$k_{H0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$1/\beta$ (m)	$k_H$ (kN/m <sup>3</sup> )	$k_h$ (kN/m)
8.00	0.40	300000	600000	2000000	2.882	420338	336271
7.20	0.80	300000	600000	2000000	2.882	420338	672541
6.40	0.80	300000	600000	2000000	2.882	420338	672541
5.60	0.80	300000	600000	2000000	2.882	420338	672541
4.80	0.80	300000	600000	2000000	2.882	420338	672541
4.00	0.80	300000	600000	2000000	2.882	420338	672541
3.20	0.80	300000	600000	2000000	2.882	420338	672541
2.40	0.85	300000	600000	2000000	2.882	420338	714575
1.50	0.70	67200	537600	1792000	2.971	372370	564490
1.00	0.50	67200	537600	1792000	2.971	372370	372370
0.50	0.25	—	—	—	—	—	186185

第3-5表 上限値

T. P. (m)	支配 長さ H (m)	粘着力 C (kN/m <sup>2</sup> )	内部 摩擦角 $\phi$ (°)	地表面と 水平面の 角度 $\alpha$ (°)	杭と土 の 摩擦角 $\delta E$ (°)	有効 上載圧 q (kN/m <sup>2</sup> )	受動 土圧 係数 K <sub>EP</sub>	水平地盤 反力度 P <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	係数 $\eta_p \alpha_p$	上限値 P <sub>h</sub> (kN)
8.00	0.40	500.0	0.0	0.00	0.00	0.00	1.00	1016.00	1.50	1219.2
7.20	0.80	500.0	0.0	0.00	0.00	16.00	1.00	1032.00	1.50	2457.6
6.40	0.80	500.0	0.0	0.00	0.00	32.00	1.00	1048.00	1.50	2496.0
5.60	0.80	500.0	0.0	0.00	0.00	48.00	1.00	1064.00	1.50	2534.4
4.80	0.80	500.0	0.0	0.00	0.00	64.00	1.00	1080.00	1.50	2572.8
4.00	0.80	500.0	0.0	0.00	0.00	80.00	1.00	1096.00	1.50	2611.2
3.20	0.80	500.0	0.0	0.00	0.00	96.00	1.00	1112.00	1.50	2649.6
2.40	0.85	500.0	0.0	0.00	0.00	112.00	1.00	1130.00	1.50	2859.9
1.50	0.70	81.0	36.7	0.00	-6.12	130.00	4.96	1055.32	1.15	2317.0
1.00	0.50	81.0	36.7	0.00	-6.12	134.95	4.96	1079.88	1.15	1227.7
0.50	0.25	81.0	36.7	0.00	-6.12	139.89	4.96	1104.44	1.15	620.9

3.2.5 鋼管杭の物性

第3-6表 鋼管杭の物性

【 $\phi=2000\text{mm}$ ,  $t=25\text{mm}$ 】

管種 SKK490*1	外形 $\phi$ (mm)	長さ L (mm)	厚さ t (mm)	単位質量 w(kg/m)	ヤング係数*3 E(N/mm <sup>2</sup> )
	2,000	17,000	25	1218	$2.0 \times 10^5$
	断面積 A (m <sup>2</sup> )	断面係数 Z (m <sup>3</sup> )	断面 2 次モーメント I (m <sup>4</sup> )	有効せん断 断面積 A <sub>s</sub> *2 (m <sup>2</sup> )	ポアソン比*3 $\nu$
$14,884 \times 10^{-5}$	$726 \times 10^{-4}$	$725 \times 10^{-4}$	$14,884 \times 10^{-5}$	0.30	

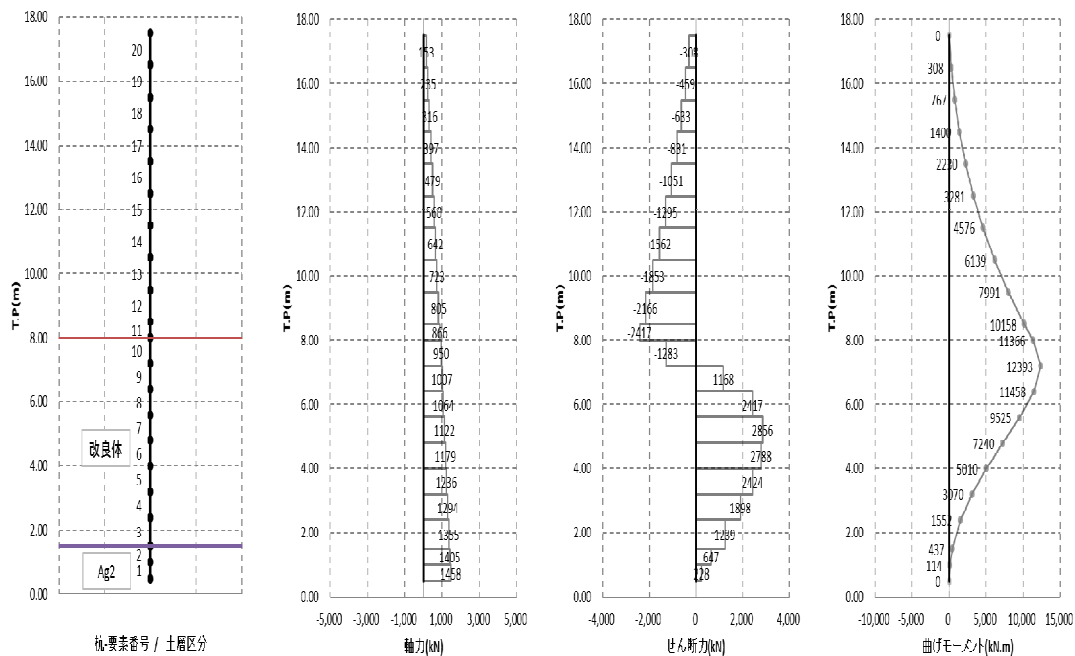
注記 \*1: JFE スチール株式会社 「JFE の鋼管杭」 より

\*2: 有効せん断断面積比は 1.0 とした。

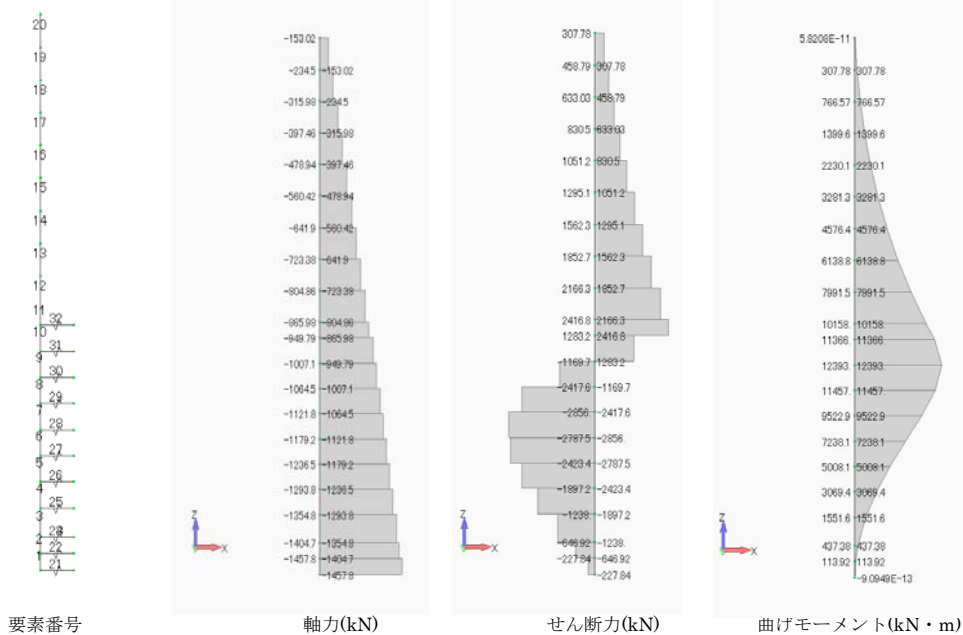
\*3: 「道路橋示方書・同解説 I 共通編」 「3.3 設計計算に用いる物理定数」 (P.86) より

### 3.3 結果比較

#### 3.3.1 断面力



(1) RESP-T



(2) Femap with NX Nastran

第3-2図 断面力図

第3-7表 断面力の比較

要素 番号	軸力 (kN)		
	RESP-T	NASTRAN	差異の比率
1	1457.82	1457.82	0.00%
2	1404.71	1404.71	0.00%
3	1354.75	1354.75	0.00%
4	1293.83	1293.83	0.00%
5	1236.49	1236.49	0.00%
6	1179.15	1179.15	0.00%
7	1121.81	1121.81	0.00%
8	1064.47	1064.47	0.00%
9	1007.13	1007.13	0.00%
10	949.79	949.79	0.00%
11	865.98	865.98	0.00%
12	804.86	804.86	0.00%
13	723.38	723.38	0.00%
14	641.90	641.90	0.00%
15	560.42	560.42	0.00%
16	478.94	478.94	0.00%
17	397.46	397.46	0.00%
18	315.98	315.98	0.00%
19	234.50	234.50	0.00%
20	153.02	153.02	0.00%

要素 番号	せん断力 (kN)		
	RESP-T	NASTRAN	差異の比率
1	227.64	227.84	-0.09%
2	647.35	646.92	0.07%
3	1238.54	1238.04	0.04%
4	1897.66	1897.23	0.02%
5	2424.01	2423.40	0.03%
6	2787.84	2787.53	0.01%
7	2856.09	2856.02	0.00%
8	2416.78	2417.55	-0.03%
9	1168.30	1169.68	-0.12%
10	-1283.16	-1283.16	0.00%
11	-2416.81	-2416.81	0.00%
12	-2166.34	-2166.34	0.00%
13	-1852.71	-1852.71	0.00%
14	-1562.31	-1562.31	0.00%
15	-1295.14	-1295.14	0.00%
16	-1051.20	-1051.20	0.00%
17	-830.50	-830.50	0.00%
18	-633.03	-633.03	0.00%
19	-458.79	-458.79	0.00%
20	-307.78	-307.78	0.00%

要素 番号	曲げモーメントI端 (kN・m)		
	RESP-T	NASTRAN	差異の比率
1	0.00	0.00	0.00%
2	-113.82	-113.92	-0.09%
3	-437.49	-437.38	0.03%
4	-1552.18	-1551.61	0.04%
5	-3070.31	-3069.39	0.03%
6	-5009.52	-5008.11	0.03%
7	-7239.79	-7238.13	0.02%
8	-9524.66	-9522.95	0.02%
9	-11458.10	-11456.99	0.01%
10	-12392.70	-12392.73	0.00%
11	-11366.20	-11366.21	0.00%
12	-10157.80	-10157.80	0.00%
13	-7991.46	-7991.46	0.00%
14	-6138.75	-6138.75	0.00%
15	-4576.44	-4576.44	0.00%
16	-3281.30	-3281.30	0.00%
17	-2230.10	-2230.10	0.00%
18	-1399.60	-1399.60	0.00%
19	-766.57	-766.57	0.00%
20	-307.78	-307.78	0.00%

4. 解析コードの概要（建物，構築物関連）

項目 \ コード名	RESP-T
使用目的	固有値解析及び弾塑性応答解析
開発機関	株式会社構造計画研究所
開発時期	1989年
使用したバージョン	Ver. 5.1.2.2
コードの概要	RESP-Tは、建築・土木構造物を対象とした静的解析及び時刻歴による地震応答解析を行う解析用プログラムである。建物の諸定数（せん断ばね，減衰定数，層高さ，質量等）を入力として，静的解析及びニューマークβ法を用いた地震応答解析を行うことができる。解析結果としては，加速度，変位，せん断力，曲げモーメント等が求められる。
検証（Verification）及び 妥当性確認（Validation）	<p>RESP-Tは，サービス建屋の水平方向について，基準地震動<math>S_s</math>に対する建屋の応答を評価するために使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・既工事計画において実績のある別コード（TDAPⅢ）による解析結果と一致することを確認している。</li> <li>・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・地震応答解析に対して，<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 150px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span>において，動的解析に使用された実績がある TDAPⅢを用いた解析解と，本コードによる解析解を比較した結果，双方の解が一致していることを確認した。</li> <li>・本工事計画における構造に対し使用する要素，応力解析及び応答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。</li> </ul>

## 5. 解析コードの検証

### 5.1 RESP-T の解析手法について

#### (1) 一般事項

RESP-T は、構造計画研究所が開発したプログラムであり、時間領域における構造解析用計算機コードである。RESP-T は、サービス建屋の水平方向の地震応答解析における質点系地盤連成モデルの応答を評価するために使用している。

#### (2) 解析コードの特徴

RESP-T の主な特徴を以下に示す。

- ・ばね要素やはり要素などでモデル化した、多質点系の応答解析を行う。
- ・質量は、集中質量として評価する。
- ・要素に非線形特性を設定し、非線形解析を行うことができる。
- ・ひずみエネルギー比例型及びレーリー減衰型の減衰を用いることができる。
- ・固有値解析は、サブスペース法による。
- ・応答解析は、時間領域の直接積分法による。

#### (3) 解析手法

##### a. 固有値解析

多自由度系の運動方程式は以下の式で表される。

$$[M] \{\ddot{u}\} + [C] \{\dot{u}\} + [K] \{u\} = \{f\} \quad (5.1-1)$$

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
- $\{f\}$  : 外力ベクトル

(5.1-1)式の荷重ベクトルを $\{0\}$ とし、減衰項を除いた自由振動を表す方程式は以下の式で表される。

$$[M] \{\ddot{u}\} + [K] \{u\} = \{0\} \quad (5.1-2)$$

(5.1-2)式の変位 $\{u\}$ に調和振動を仮定すると次のような関係が得られる。

$$(-\omega_r^2 [M] + [K]) \{u_r\} = \{0\} \quad (5.1-3)$$

一般に、 $\{u_r\} = \{0\}$ 以外の(5.1-3)式を満足する $\omega_r$ 及び $\{u_r\}$ を求めることを固有値問題と呼び、 $\omega_r$ を固有値、 $\{u_r\}$ を固有ベクトルという。

## b. ひずみエネルギー比例型減衰

建屋の減衰は、各次の振動モードにおける部材のひずみエネルギーに比例するものとして以下の式から設定する。

$$h_i = \frac{\sum_k h_0^j E_i^j}{\sum_k E_i^j} \quad (5.1-4)$$

ただし、

$$E_i^j = \frac{1}{2} \{ \phi_i^j \}^T [k^j] \{ \phi_i^j \}$$

ここで、

$h_0^j$  : j 部材の減衰定数

$[k^j]$  : j 部材の剛性マトリクス

$\{ \phi_i^j \}$  : i 次の振動モードにおける j 部材の材端変位ベクトル

## c. 直接積分法

直接積分法はニューマークの  $\beta$  法を用いる。n ステップの変位  $\{u_n\}$ 、速度  $\{\dot{u}_n\}$  及び加速度  $\{\ddot{u}_n\}$  が既知の場合、次の (n+1) ステップの変位及び速度は  $\beta$  及び  $\gamma$  をパラメータとして、以下の式で表される。

$$\{\dot{u}_{(n+1)}\} = \{\dot{u}_n\} + (1-\gamma) \dot{u}_n + \gamma \dot{u}_{(n+1)} \quad (5.1-5)$$

$$\{u_{(n+1)}\} = \{u_n\} + \Delta t \{\dot{u}_n\} + \frac{\Delta t^2}{2} \{\ddot{u}_n\} + \beta \Delta t^2 (\{\ddot{u}_{(n+1)}\} - \{\ddot{u}_n\}) \quad (5.1-6)$$

(5.1-5) 式及び (5.1-6) 式を (5.1-4) 式に代入し、 $\dot{u}_{(n+1)}$  及び  $\ddot{u}_{(n+1)}$  を消去すると、変位増分に対する次のような関係が得られる。

$$[\bar{K}] (\{u_{(n+1)}\} - \{u_n\}) = \{\bar{f}\} \quad (5.1-7)$$

ただし、

$$[\bar{K}] = [K] + \frac{1}{\beta \Delta t^2} [M] + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} [C]$$

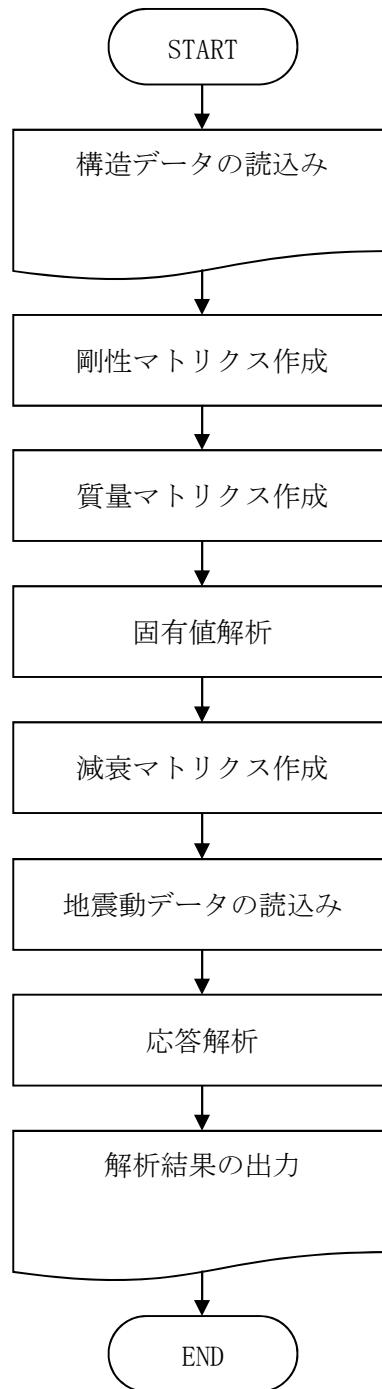
$$\{\bar{f}\} = \{f_{(n+1)}\} - \{f_n\} + [M] \left( \frac{1}{\beta \Delta t} \{\dot{u}_n\} + \frac{1}{2\beta} \{\ddot{u}_n\} \right) + [C] \left\{ \frac{\gamma}{\beta} \{\dot{u}_n\} + \left( \frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) \Delta t \{\ddot{u}_n\} \right\}$$

(5.1-7) 式から、(n+1) ステップの変位が得られ、速度及び加速度を得ることができる。



(4) 解析フローチャート

解析フローチャートを第 5-1 図に示す。



第 5-1 図 解析フローチャート

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

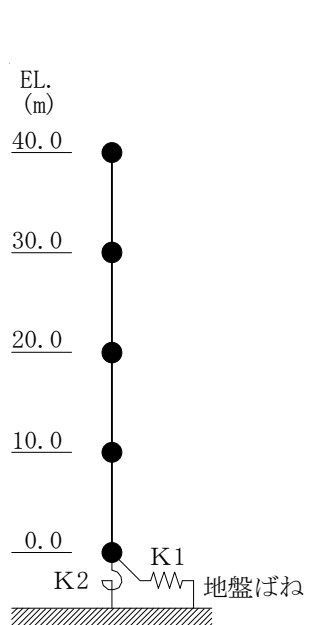
a. 他コードとの比較による検証

例題に対して、市販されている汎用構造解析プログラム「TDAPⅢ Ver. 3.09」(大成建設株式会社/株式会社アーク情報システム)との比較を行う。なお、「TDAPⅢ ver. 3.05」は、の工事計画で実績がある。

解析モデルの諸元を第5-1表～第5-4表に、検討に用いる入力地震動を第5-2図に、解析結果の比較を第5-4図に示す。

図より、RESP-Tの結果はTDAPⅢによる結果と良い一致を示していることが確認できる。

第5-1表 解析モデル諸元



EL. (m)	重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_g$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	せん断断面積 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )	断面2次モーメント $I$ ( $\text{m}^4$ )
40.0	150,000	3.0	100	20,000
30.0	200,000	4.0		
20.0	250,000	5.0	200	40,000
10.0	300,000	6.0		
0.0	400,000	8.0	250	50,000

第5-2図 材料定数

ヤング係数 $E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	せん断弾性係数 $G$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	減衰定数 $h$ (%)
22100	9210	5

第 5-2 表 復元力特性 ( $\tau - \gamma$  関係)

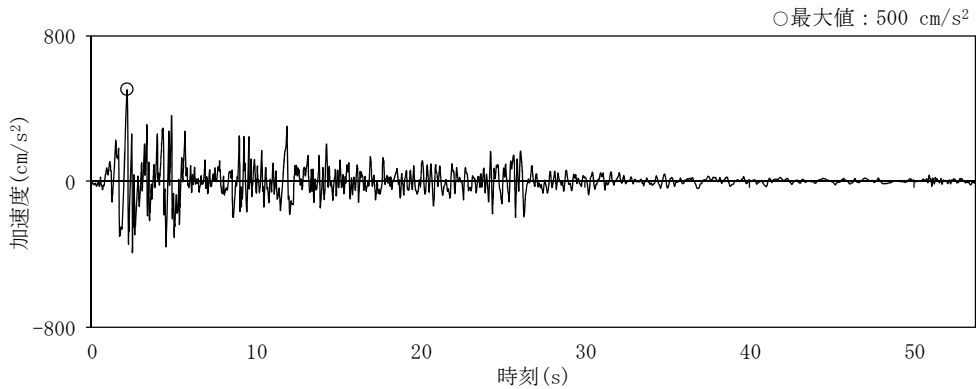
要素 番号	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
1	1.79	2.42	5.46	0.194	0.582	4.0
2	1.96	2.65	5.75	0.213	0.639	4.0
3	2.08	2.81	6.09	0.226	0.678	4.0
4	2.18	2.94	6.50	0.237	0.711	4.0

第 5-3 表 復元力特性 ( $M - \phi$  関係)

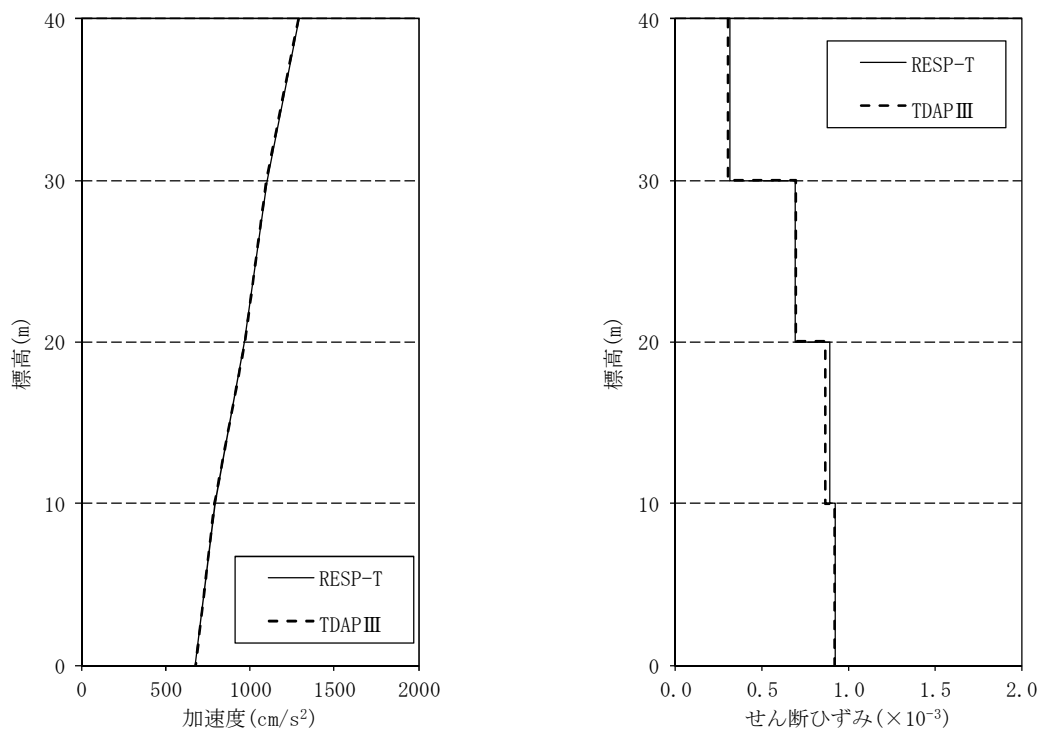
要素 番号	$M_1$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$M_2$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$M_3$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-6}$ 1/m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-6}$ 1/m)	$\phi_3$ ( $\times 10^{-6}$ 1/m)
1	2.29	5.74	9.40	5.18	46.0	415
2	4.06	10.8	17.0	6.12	48.0	350
3	6.11	16.9	26.1	6.91	49.4	312
4	8.46	24.0	36.6	7.66	50.7	286

第 5-4 表 地盤のばね定数と減衰係数

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
K1	5	底面・並進	$4.0 \times 10^7$ kN/m	$1.0 \times 10^6$ kN $\cdot$ s/m
K2	5	底面・回転	$3.0 \times 10^{10}$ kN $\cdot$ m/rad	$3.0 \times 10^8$ kN $\cdot$ m $\cdot$ s/rad



第 5-3 図 入力地震動



(a) 加速度

(b) せん断ひずみ

第 5-4 図 解析結果の比較 (最大応答分布)

b. 使用内容に対する妥当性

サービス建屋の地震応答解析に RESP-T を使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・ 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使用することは妥当である。

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-677 改3
提出年月日	平成30年9月20日

## V-5-45 計算機プログラム（解析コード）の概要・T D A P III

## 目次

1.	はじめに	1
1.1	使用状況一覧	2
2.	解析コードの概要	3
2.1	TDAPⅢ Ver. 3.07	3
2.2	TDAPⅢ Ver. 3.08	5
3.	TDAPⅢの解析手法について	8
3.1	一般事項	8
3.2	解析コードの特徴	8
3.3	解析手法	8
3.4	解析フローチャート	10
3.5	検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	11

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）TDAPⅢについて説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-5	使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書	Ver. 3.07
V-2-2-23-4	常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の耐震性についての計算書	Ver. 3.08
V-2-2-27	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書	Ver. 3.08
V-2-2-29	代替淡水貯槽の耐震性についての計算書	Ver. 3.08
V-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	Ver. 3.08



## 2. 解析コードの概要

### 2.1 TDAPⅢ Ver. 3.07 (※建物, 構築物関連)

項目	コード名 TDAPⅢ
使用目的	2次元骨組構造解析
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
コードの概要	<p>TDAPⅢは、2次元、3次元及び軸対称問題に対応可能で、静荷重、動荷重の取り扱いができる構造解析の汎用コードである。動的解析においては、線形弾性解析及び材料非線形解析等を時間領域における数値積分により行う。</p> <p>土木・建築分野の特化した要素群, 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。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>TDAPⅢ (Ver. 3.07) は、使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の応力解析に使用している。</p> <p><b>【検証の内容】</b> 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"> <li>・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。</li> <li>・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、2次元骨組構造解析の検証として、はり要素を用いた構造解析を行い、解析解が文献解と一致することを確認している。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認】</b> 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"> <li>・九州電力玄海3号機工事計画認可申請書の添付資料3 (耐震性に関する説明書) において、固有値解析及び弾塑性解析に使用された実績がある。</li> <li>・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって解析機能の妥当性も確認している。</li> <li>・本工事計画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。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>・本工事計画における構造に対し使用する要素，2次元有限要素法による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。</li></ul>
--	--

2.2 TDAPⅢ Ver. 3.08

項目	コード名 TDAPⅢ
使用目的	静的応力解析
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. 3.08
コードの概要	<p>構造解析の汎用コードである。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，官公庁，大学，民間問わず，多くの利用実績がある。</p> <p>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。</p> <p>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>TDAPⅢ Ver. 3.08は，常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部），常設低圧代替注水系ポンプ室，代替淡水貯槽の静的応力解析に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></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"> <li>・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。</li> <li>・四国電力株式会社の「伊方原子力発電所第3号機」において，中央制御室遮へいの静的応力解析に本コード（Ver. 3.05）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画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異なるが，バージョンの変更において，本解析の使用範囲の結果に影響の無いことを確認している。</li> <li>・本工事計画における構造に対して行う静的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。</li> </ul>

項目	コード名 TDAPⅢ
使用目的	2次元骨組構造解析
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. 3.08
コードの概要	<p>構造解析の汎用コードである。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，官公庁，大学，民間問わず，多くの利用実績がある。</p> <p>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。</p> <p>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>TDAPⅢ Ver. 3.08は，常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の水平方向断面検討のための2次元骨組構造解析に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></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"> <li>・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。</li> <li>・九州電力株式会社の「川内原子力発電所第1号機」において，取水ピット，取水路，取水口，貯留堰，海水管ダクト堅坑部，海水管ダクト，海水ポンプエリア防護壁，防護堤の2次元骨組構造解析に本コード（Ver. 3.01）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画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異なるが，バージョンの変更において，本解析の使用範囲の結果に影響の無いことを確認している。</li> <li>・本工事計画における構造に対して行う2次元骨組構造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。</li> </ul>

項目	コード名 TDAPⅢ
使用目的	3次元骨組みモデルによる動的解析
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. 3.08
計算機コードの概要	<p>構造解析の汎用コードである。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，官公庁，大学，民間問わず，多くの利用実績がある。</p> <p>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。</p> <p>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>TDAPⅢ Ver. 3.08は，鋼製防護壁上部工の3次元骨組みモデルによる動的解析に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは，別途，妥当性確認資料の中で確認している。</li> <li>・基礎位置に強制変位を与える動的解析手法における基礎位置での強制変位の入力値と応答値および固有値解析における支配的なモード図の形状と応答値が一致していることを確認している。</li> <li>・別の解析コード（Femap with NX NASTRAN (Ver10.3.1B)）による応答値との比較を実施し，応答値の発生傾向が一致することを確認している。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></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"> <li>・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。</li> <li>・本工事計画における構造に対して行う地震応答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。</li> </ul>

### 3. TDAPⅢの解析手法について

#### 3.1 一般事項

TDAPⅢは、2次元及び3次元の有限要素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多種多様な構造要素や地盤要素、非線形構成則の機能を有している。主として地盤・構造物練成系の地震応答解析を行うものであり、鋼製防護壁の3次元骨組みモデルによる動的解析に使用している。

#### 3.2 解析コードの特徴

TDAPⅢは、土木・建築分野に特化した多種多様な構造要素や地盤要素、非線形構成則の機能を有する特徴を持つが、今回の使用目的に対しては以下の①～④の特徴を挙げることができる。

- ① 2次元動的FEM解析を時間領域における数値積分により行う。
- ② 線材要素を用いる。

#### 3.3 解析手法

##### a. 運動方程式

一般的に、多自由度系に対する離散化された運動方程式は式(3.1.1)のように表すことができる。

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{F\} \quad (3.3.1)$$

ここで、

- $[M]$  : 質量行列
- $[C]$  : 減衰行列
- $[K]$  : 剛性行列
- $\{U\}$  : 絶対変位ベクトル
- $\{\dot{U}\}$  : 絶対速度ベクトル
- $\{\ddot{U}\}$  : 絶対加速度ベクトル
- $\{F\}$  : 荷重ベクトル

出所：TDAPⅢ理論説明書

##### b. 運動方程式の直接積分による解法

運動方程式(3.3.1)は、以下のようにニューマークベータ法により解く。

$$[M]\{\ddot{U}_{t+\Delta t}\} + [C]\{\dot{U}_{t+\Delta t}\} + [K]\{U_{t+\Delta t}\} = \{F_{t+\Delta t}\} \quad (3.3.2)$$

を、

$$\{\dot{U}_{t+\Delta t}\} = \{\dot{U}_t\} + [(1-\delta)\{\ddot{U}_t\} + \delta\{\ddot{U}_{t+\Delta t}\}]\Delta t \quad (3.3.3)$$

$$\{U_{t+\Delta t}\} = \{U_t\} + \{\dot{U}_t\}\Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \beta\right)\{\ddot{U}_t\} + \beta\{\ddot{U}_{t+\Delta t}\}\right]\Delta t^2 \quad (3.3.4)$$

の仮定のもとに解く。ここで  $\delta \geq 0.5, \beta \geq 0.25(0.5 + \delta)^2$

式(3.3.4)を  $\{\ddot{U}_{t+\Delta t}\}$  について解き、これを式(3.3.3)に代入すると、

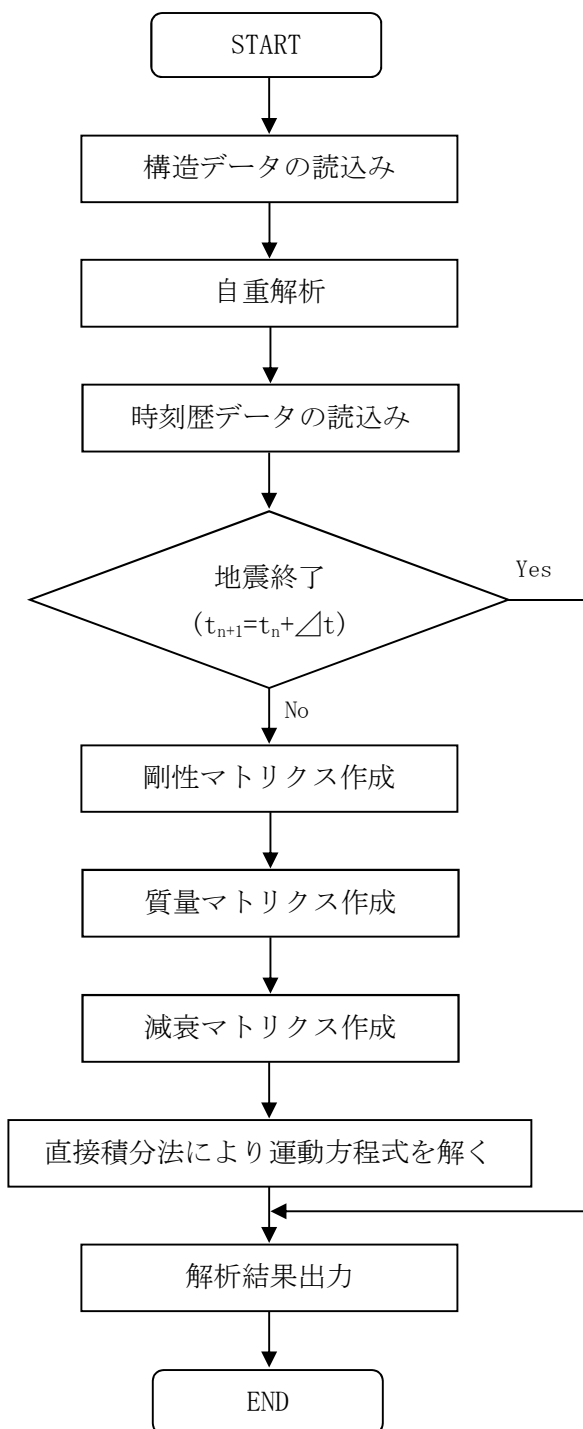
$$\begin{aligned} \{\dot{U}_{t+\Delta t}\} &= \left(1 - \frac{\delta}{2\beta}\right)\{\ddot{U}\}\Delta t + \left(1 - \frac{\delta}{\beta}\right)\{\dot{U}_t\} + \frac{\delta}{\beta\Delta t}(\{U_{t+\Delta t}\} - \{U_t\}) \\ \{\ddot{U}_{t+\Delta t}\} &= \frac{1}{\beta\Delta t^2} \left[ \{U_{t+\Delta t}\} - \{U_t\} - \{\dot{U}_t\}\Delta t - \frac{\Delta t^2}{2}\{\ddot{U}_t\} \right] + \{\ddot{U}_t\} \end{aligned}$$

と書ける。これを式(3.3.2)に代入して  $\{U_{t+\Delta t}\}$  に関する方程式としてまとめると、式(3.3.5)となる。

$$\begin{aligned} & \left[ [K_t] + \frac{1}{\beta\Delta t^2} [M] + \frac{\delta}{\beta\Delta t} [C_t] \right] \{U_{t+\Delta t}\} \\ &= \{F_{t+\Delta t}\} + [M] \left[ \frac{1}{\beta\Delta t^2} \{U_t\} + \frac{1}{\beta\Delta t} \{\dot{U}_t\} + \left(\frac{1}{2\beta} - 1\right)\{\ddot{U}_t\} \right] + \\ & \quad [C] \left[ \frac{\delta}{\beta\Delta t} \{U_t\} + \left(\frac{\delta}{\beta} - 1\right)\{\dot{U}_t\} + \left(\frac{\delta}{2\beta} - 1\right)\Delta t\{\ddot{U}_t\} \right] \end{aligned} \quad (3.3.5)$$

出所：TDAPⅢ理論説明書

### 3.4 解析フローチャート



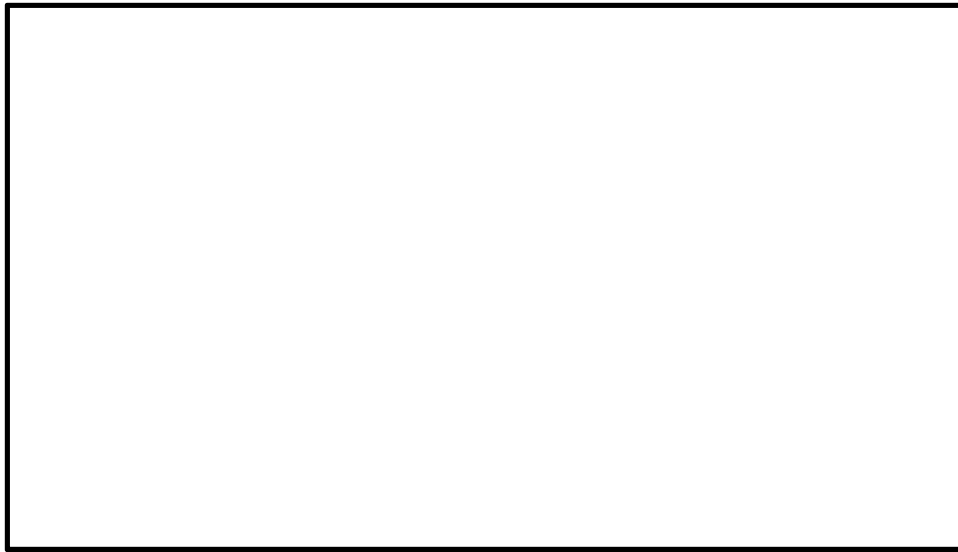


### 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

#### a. 基礎位置の入力値と応答値の比較による検証

鋼製防護壁をモデル化した3次元骨組みモデルにおいて、基礎位置の水平変位・鉛直変位・回転角の入力値に対して、解析結果の応答値の比較を実施する。

検証モデルを第3-1図に示す。加振方向は壁軸方向加震と壁直方向加震の2通り行い、第3-1表、第3-2表に示すとおり、いずれのケースも入力値と応答値が完全に一致していることを確認した。



第3-1図 検証モデル

第3-1表 壁軸方向加震 入力値と応答値の比較

		南基礎			北基礎		
		水平変位 (m)	鉛直変位 (m)	回転角 (rad)	水平変位 (m)	鉛直変位 (m)	回転角 (rad)
入力値	最大	0.218	0.010	0.00320	0.220	0.018	0.00267
	最小	-0.336	-0.056	-0.00405	-0.340	-0.044	-0.00362
応答値	最大	0.218	0.010	0.00320	0.220	0.018	0.00267
	最小	-0.336	-0.056	-0.00405	-0.340	-0.044	-0.00362
比率 (応答値/入力値)	最大	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	最小	100%	100%	100%	100%	100%	100%

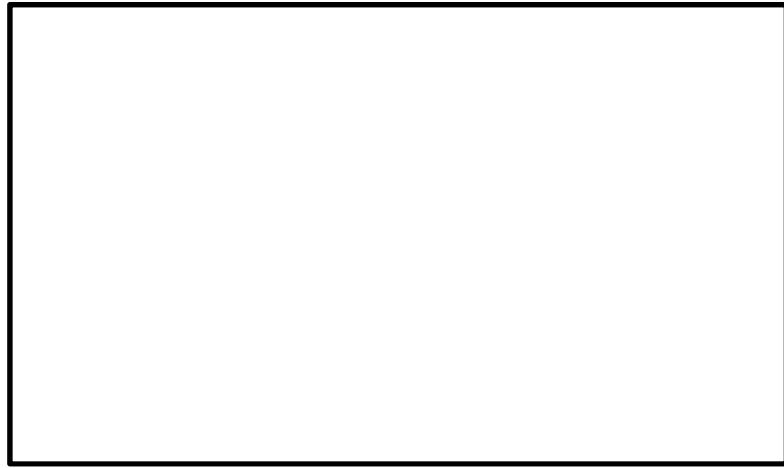
第3-2表 壁直方向加震 入力値と応答値の比較

		南基礎			北基礎		
		水平変位 (m)	鉛直変位 (m)	回転角 (rad)	水平変位 (m)	鉛直変位 (m)	回転角 (rad)
入力値	最大	0.174	0.018	0.00515	0.358	0.020	0.01118
	最小	-0.341	-0.047	-0.00217	-0.731	-0.050	-0.00420
応答値	最大	0.174	0.018	0.00515	0.358	0.020	0.01118
	最小	-0.341	-0.047	-0.00217	-0.731	-0.050	-0.00420
比率 (応答値/入力値)	最大	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	最小	100%	100%	100%	100%	100%	100%

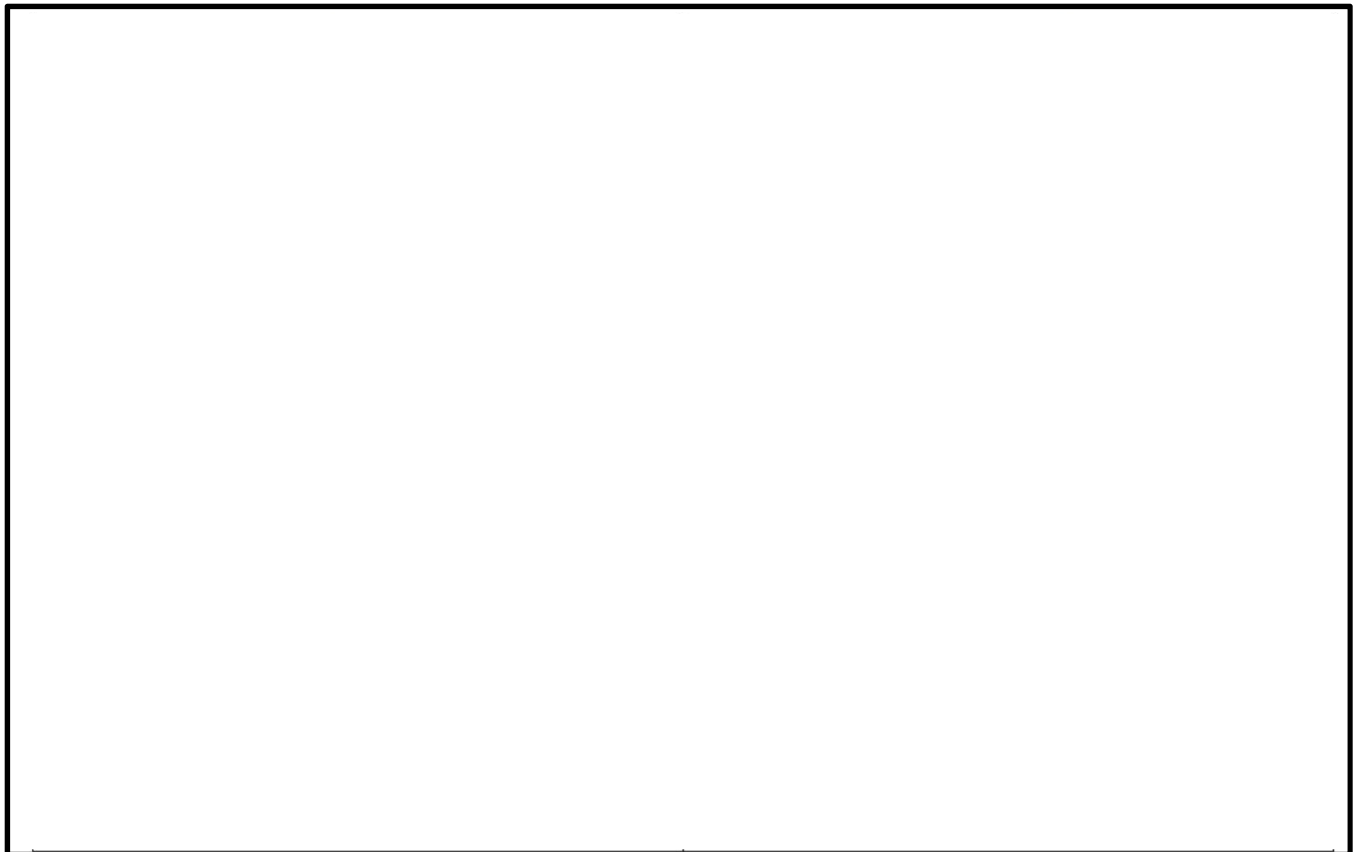
b. 変形性状の固有値解析モード図と応答値の比較による検証

鋼製防護壁をモデル化した3次元骨組みモデルにおいて、固有値解析の支配的なモード図の形状と解析結果の変形性状の比較を実施する。

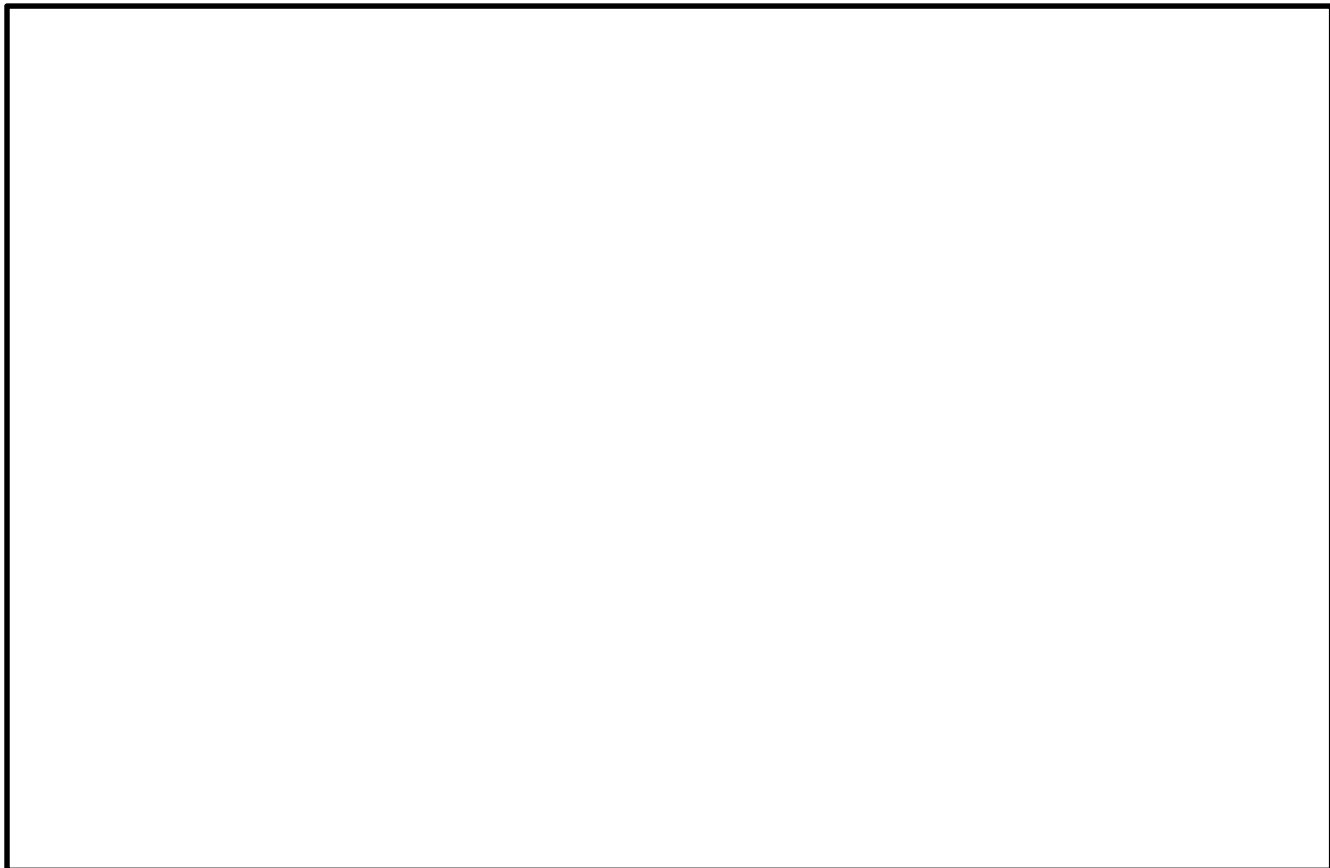
検証モデルを第3-2図に示す。加振方向は壁軸方向加震と壁直方向加震の2通り行う。動的解析は、基礎位置に強制変位を入力する手法のため基礎部の変形は大きいですが、鋼製防護壁の変形性状は固有値解析のモード図と解析結果で同様であることを確認した。第3-3図に壁軸方向加時震時の比較結果を、第3-4図に壁直方向加震時の比較結果を示す。



第3-2図 検証モデル



第3-3図 壁軸方向加時震時の比較結果



第3-4図 壁直方向加時震時の比較結果

## c. 他構造解析用汎用コード[Femap with NX NASTRAN]の応答値の比較による検証

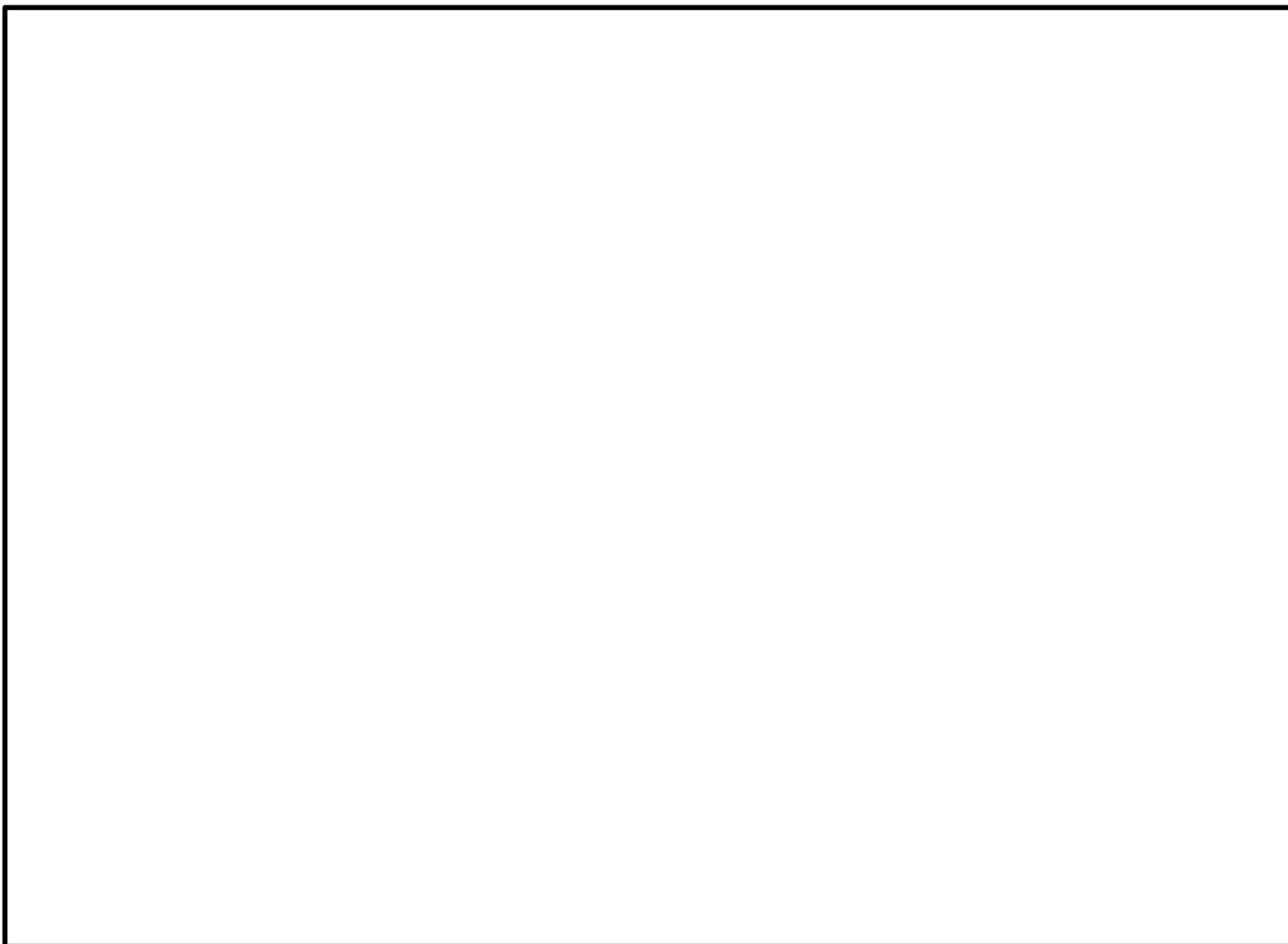
NX NASTRANは、アメリカ航空宇宙局（NASA）の構造解析プログラムとして開発されたNASTRANが、1971年にThe MacNeal-Schwendler Co.（MSC社の前身）から商用版としてリリースされ、このコードをベースにUGS社（Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.の前身）がNX NASTRANとして継承、開発を続けている有限要素法による構造解析汎用コードである。

鋼製防護壁をモデル化した3次元骨組みモデルにおいて、TDAPⅢとFemap with NX NASTRANの二つの解析コードにおける時刻歴応答値の比較を実施する。使用した、Femap with NX NASTRANのバージョンは、「Ver10.3.1B日本語版（64bit）」である。

第3-3表及び第3-5図に検証モデルと比較を実施した応答値出力位置を示す。応答値の比較は、支間中央部下端と両基礎拡幅付け根下端で実施した。

第3-3表 応答値出力位置

	支間中央部下端	南基礎 拡幅付け根下端	北基礎 拡幅付け根下端
変位出力 節点番号	180	10071	10286



第3-5表 検証モデル及び応答値出力位置

以下に、変形比較結果を示す。時刻歴変位の発生傾向がFemap with NX NASTRANとTDAPIIIで一致している。また、最大値及び最小値の比率も誤差がないことを確認した。

第3-6図 節点180(支間中央)におけるX, Y, Z方向の時刻歴応答変位比較結果

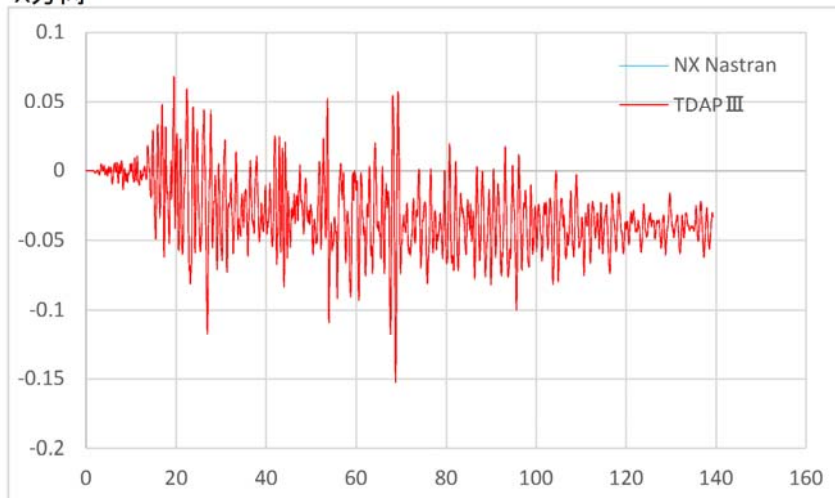
第3-7図 節点10071(南基礎側付け根)におけるX, Y, Z方向の時刻歴応答変位比較結果

第3-8図 節点10286(北基礎側付け根)におけるX, Y, Z方向の時刻歴応答変位比較結果

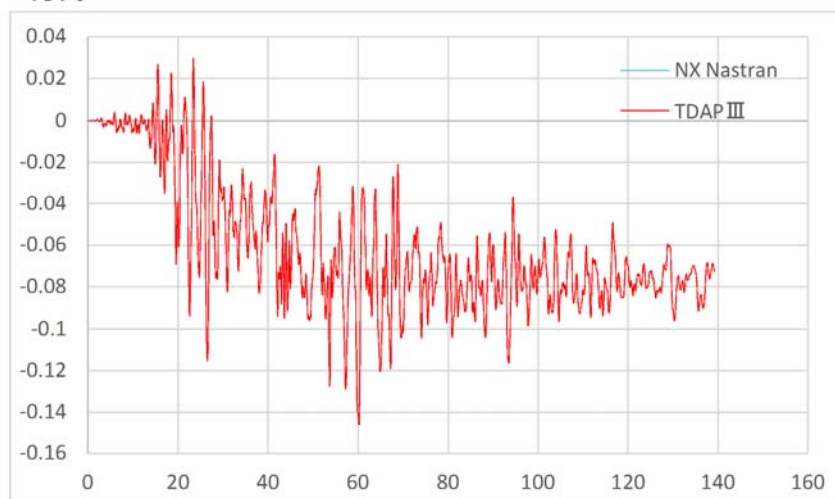
第3-4表 X, Y, Z方向の最大最小変位比較結果

変位比較

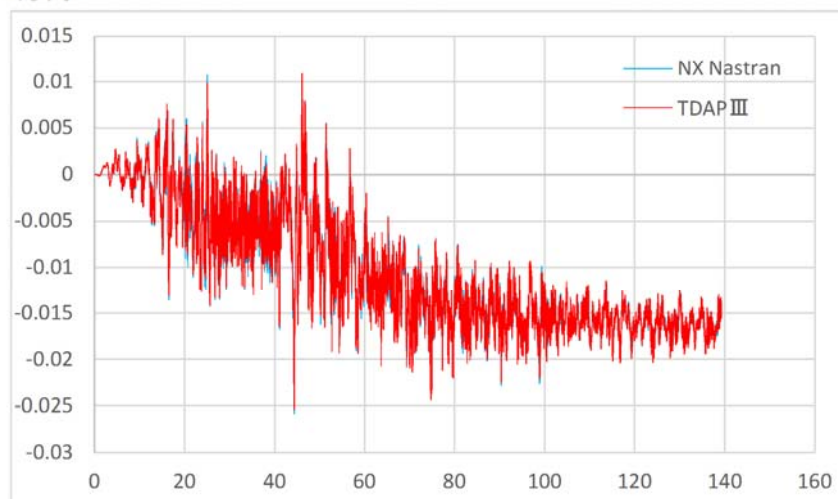
ID 180 支間中央  
X方向



ID 180 支間中央  
Y方向



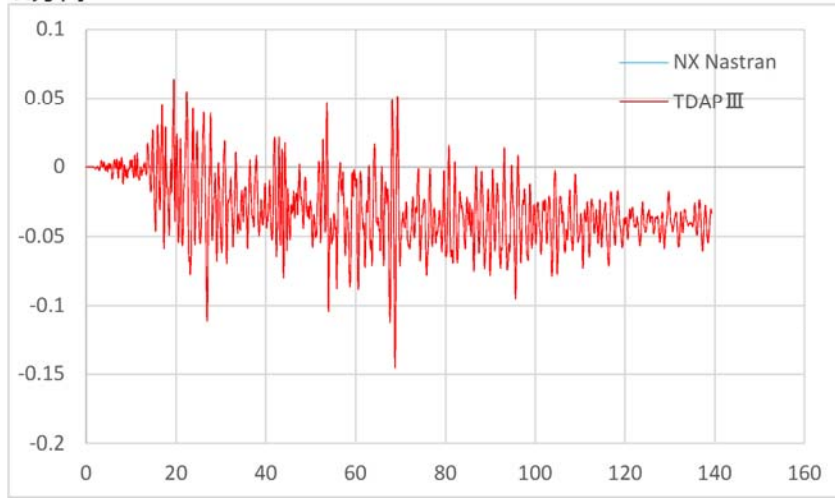
ID 180 支間中央  
Z方向



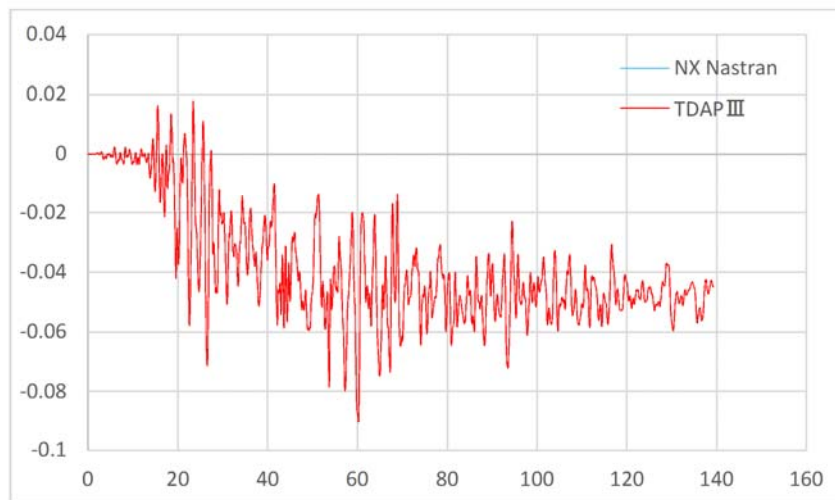
第3-6図 節点180(支間中央)におけるX, Y, Z方向の時刻歴応答変位比較結果

変位比較

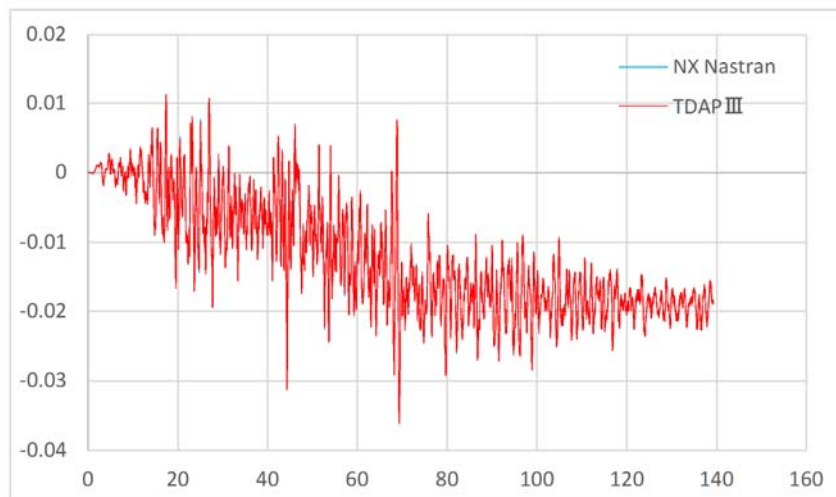
ID 10071 南基礎側 付け根  
X方向



ID 10071 南基礎側 付け根  
Y方向



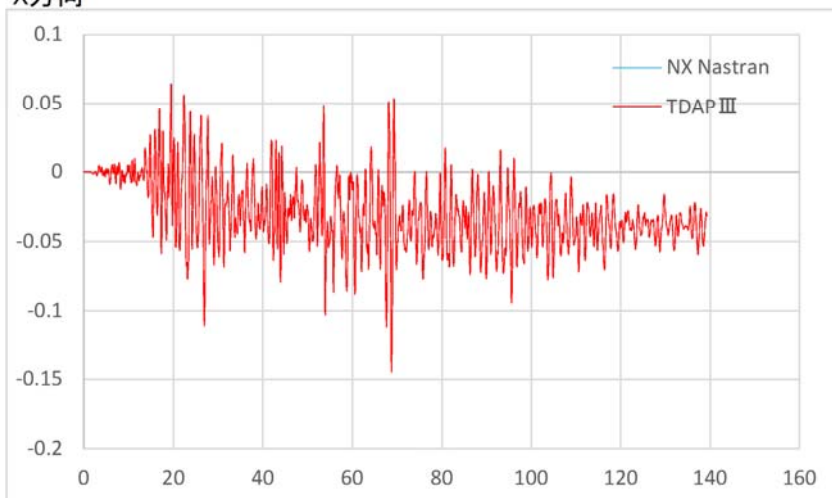
ID 10071 南基礎側 付け根  
Z方向



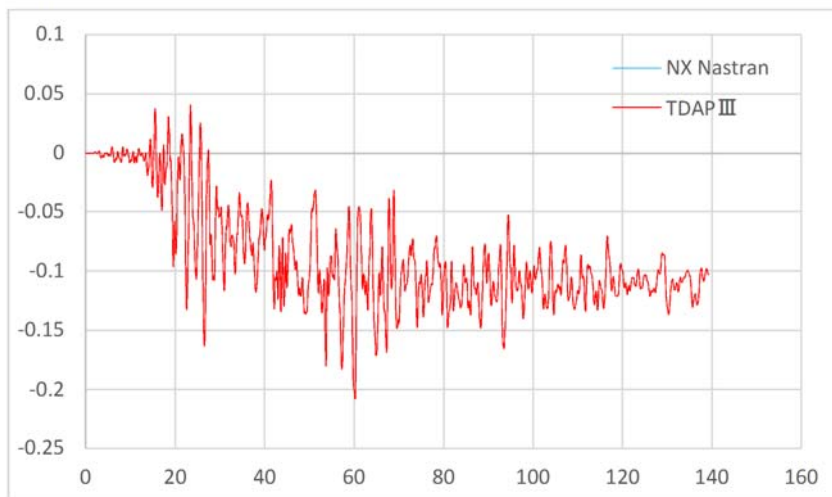
第3-7図 節点10071(南基礎側付け根)におけるX, Y, Z方向の時刻歴応答変位比較結果

変位比較

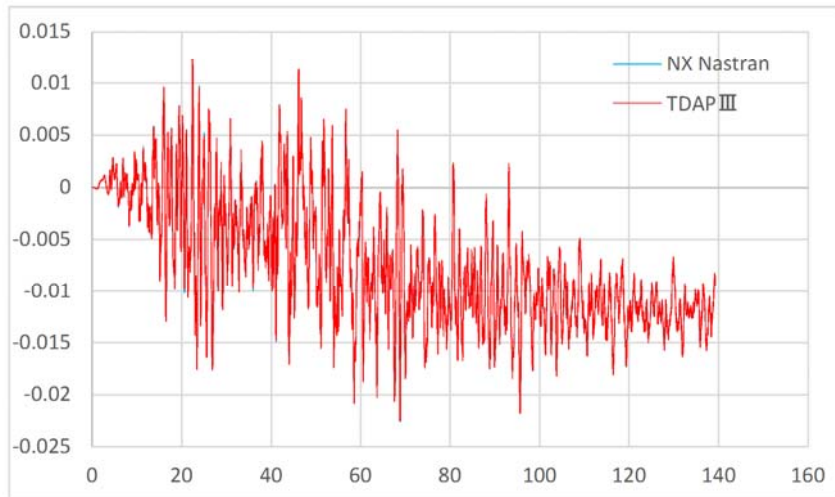
ID 10286 北基礎側 付け根  
X方向



ID 10286 北基礎側 付け根  
Y方向



ID 10286 北基礎側 付け根  
Z方向



第3-8図 節点10286(北基礎側付け根)におけるX, Y, Z方向の時刻歴応答変位比較結果

第3-4表 X, Y, Z方向の最大最小変位比較結果

		節点: 180 場所: 支間中央部		
		DX	DY	DZ
最大値	TDAPⅢ	68 mm	30 mm	11 mm
	NX Nastran	68 mm	30 mm	11 mm
	比率(TDAPⅢ/NX Nastran)	100%	100%	100%
最小値	TDAPⅢ	-153 mm	-146 mm	-25 mm
	NX Nastran	-153 mm	-146 mm	-26 mm
	比率(TDAPⅢ/NX Nastran)	100%	100%	96%
		節点: 10071 場所: 南基礎側付け根		
		DX	DY	DZ
最大値	TDAPⅢ	64 mm	18 mm	11 mm
	NX Nastran	64 mm	18 mm	11 mm
	比率(TDAPⅢ/NX Nastran)	100%	100%	100%
最小値	TDAPⅢ	-146 mm	-91 mm	-36 mm
	NX Nastran	-146 mm	-91 mm	-36 mm
	比率(TDAPⅢ/NX Nastran)	100%	100%	100%
		節点: 10286 場所: 北基礎側付け根		
		DX	DY	DZ
最大値	TDAPⅢ	64 mm	41 mm	12 mm
	NX Nastran	64 mm	41 mm	12 mm
	比率(TDAPⅢ/NX Nastran)	100%	100%	100%
最小値	TDAPⅢ	-145 mm	-208 mm	-23 mm
	NX Nastran	-145 mm	-208 mm	-23 mm
	比率(TDAPⅢ/NX Nastran)	100%	100%	100%

b. 使用内容に対する妥当性

鋼製防護壁の3次元骨組みモデルによる動的解析にTDAPⅢを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・検証の内容のとおり、基礎位置の入力値と応答値の検証、固有値解析と動的解析の変形性状の比較による検証、他構造解析汎用コードとの応答値の比較による検証を行っていることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。



本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-678 改2
提出年月日	平成30年9月20日

V-5-46 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・UC-win/Section

## 目次

1.	はじめに	1
1.1	使用状況一覧	2
2.	解析コードの概要	3
3.	UC-win/Sectionの解析手法について	4
3.1	一般事項	4
3.2	解析コードの特徴	4
3.3	解析手法	4
3.4	解析フローチャート	8
3.5	検証(Verification)と妥当性(Validation)	9

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）UC-win/Sectionについて説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-33	S A用海水ピットの耐震性についての計算書	Ver. 6.02.01
V-2-2-39-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の耐震性についての計算書	Ver. 6.02.01
V-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	Ver. 6.02.01
V-2-10-4-2	S A用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書	Ver. 6.02.01

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 UC-win/Section
使用目的	鉄筋コンクリート断面の応力度照査
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	2003年
使用したバージョン	Ver. 6.02.01
コードの概要	<p>UC-win/Sectionは、鉄筋コンクリート断面の断面諸量、応力度計算、断面耐力算定を行う解析コードで、主な特徴は下記の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋の情報(位置、断面積)を1本毎に考慮でき、複鉄筋など配筋に忠実な断面計算が可能である。</li> <li>・任意形状に対して2軸曲げの計算が可能である。</li> </ul>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>UC-win/Sectionは鋼製防護壁及び鉄筋コンクリート防潮壁の地中連続壁基礎並びにS A用海水ピット及びS A用海水ピット取水塔の応力度照査に使用されている。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は、以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードによる複鉄筋の断面照査結果と理論解が一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードによる2軸曲げの計算結果と理論解が一致することを確認している。</li> <li>・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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証の内容の通り、複鉄筋及び2軸曲げ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。</li> </ul>

### 3. UC-win/Sectionの解析手法について

#### 3.1 一般事項

UC-win/Sectionは鉄筋コンクリート断面の断面諸量，応力度計算，断面耐力算定を行うことができるプログラムである。UC-win/Sectionは，地中連続壁基礎の応力度照査，耐力照査に使用している。

#### 3.2 解析コードの特徴

UC-win/Sectionの主な特徴を以下に示す。

- ・ 鉄筋の情報(位置, 断面積)を1本毎に考慮でき, 複鉄筋など配筋に忠実な断面計算が可能である。
- ・ 任意形状に対して2軸曲げの計算が可能である。

#### 3.3 解析手法

##### (1) 曲げ応力度

本プログラムでは2軸曲げ状態を基本として曲げ応力度の計算を行う。

##### ・ 計算上の仮定

1. 維ひずみは中立軸からの距離に比例する（平面保持の仮定）。
2. コンクリートと鉄筋のヤング係数比は15とする（デフォルト値）。鉄筋以外の材料のヤング係数は次式により算定される。

$$Ei\_design = Ei\_input \cdot n \cdot ( Ec\_base / 200000 ) \cdots \text{式A}$$

ここで,

$Ei\_design$  : 応力度計算に使用するヤング係数 ( $N/mm^2$ )

$Ei\_input$  : 材料～材料エディター～ で入力されているヤング係数 ( $N/mm^2$ )

$Ec\_base$  : コンクリートのヤング係数 ( $N/mm^2$ )。設計基準強度が異なる複数のコンクリートが配置されている場合は, 面積が最も大きいコンクリートのヤング係数を採用する。

$n$  : 入力されたヤング係数比 (通常は15)

3. コンクリート, 鉄筋, 鋼板, PC鋼材, 炭素繊維シート, アラミド繊維シートは線形弾性体とする。
4. コンクリートの引張強度は無視する。
5. PC鋼材の圧縮側応力, 炭素繊維 (アラミド繊維) シートの圧縮側応力は無視する (応力がゼロ)。
6. 外ケーブルは平面保持に従うものとする。
7. 荷重の入力において与えられた軸力は断面図心に作用し, 曲げモーメントは主軸 ( $Zp, Yp$ ) まわりに作用する。

8. 計算中の力の釣り合いを考える点は断面図心まわりとする。

・ 計算手順

1. 入力された軸力と曲げモーメントから中立軸の角度と図心での軸方向ひずみ及びひずみ平面の傾き（曲率）を仮定する。
2. ひずみ平面から各材料の応力分布を求める。
3. 応力を積分して断面内に発生する軸力と曲げモーメントを求める（内力の計算）。
4. 入力された軸力と曲げモーメントと内力が一致しているかどうかをチェックする。
5. 一致していなければ、再度中立軸の角度と図心での軸方向ひずみ及びひずみ平面の傾き（曲率）を仮定しなおす。
6. 1～5を収束するまで繰返して行う。  
(鉄筋とPC鋼材は、点のデータとして1本ごとに考慮して計算。)

(2) 終局曲げモーメント

終局モーメント $\mu$ は、与えられた軸力 $N'$ と曲げモーメント $M_{zp}$ 、 $M_{yp}$ の合成方向の角度を中立軸角度として与え、その中立軸まわりに曲率を変化させて求めています。

・ 計算上の仮定

1. 維ひずみは中立軸からの距離に比例する（平面保持の仮定）。
2. コンクリート、鉄筋、鋼板、PC鋼材の応力ひずみ曲線は断面に設定された曲げ計算用準拠基準の設定を使う。
3. コンクリートの引張強度は無視する。
4. 炭素繊維シート、アラミド繊維シートは線形弾性体とする。
5. PC鋼材の圧縮側応力、繊維シートの圧縮側応力は無視する（応力がゼロ）。
6. 終局ひずみ発生位置が与えられている場合はそれを考慮する。このとき、入力された位置より外側のコンクリート領域は圧縮力を分担しないものとみなす（応力がゼロ）。
7. PC鋼材のひずみは有効鋼材応力度 $\sigma_{pe}$ による初期ひずみを考慮する。このとき $\sigma_{pe}$ によるコンクリートの初期ひずみは無視する。
8. 外ケーブルは平面保持に従わない。「 $\sigma_{pe} + \Delta \sigma_{pe}$ 」によるひずみ値で一定とする。ここで、 $\sigma_{pe}$ は有効プレストレス応力、 $\Delta \sigma_{pe}$ は初降伏・終局モーメント計算用のプレストレス応力の増分。
9. 荷重の入力において与えられた軸力は断面図心に作用する。曲げモーメントは主

軸 ( $z_p, y_p$ ) まわりに作用する。

10. 計算中の力の釣り合いを考える点は断面図心まわりとする。

- 終局曲げモーメント  $M_u$  の算定

与えられた軸力  $N'$  と曲げモーメント  $M_{z_p}$  と  $M_{y_p}$  を合成した方向 ( $\sqrt{(M_{z_p}^2 + M_{y_p}^2)}$ ) の 2 つを収束条件として終局モーメント  $M_u$  をダイレクトに算定する。計算方法は下記「3次元相互作用図の作成」とほぼ同じ。ダイレクト計算が相互作用図作成時と異なる点は、次の 2 点である。

1. 軸力の分割点リスト ( $N_1, N_2, \dots$ ) を作成せずに与えられた軸力  $N'$  を使用する。
2.  $\theta$  を 15 度ずつ変化させるのではなく与えられた  $M_{z_p}$  と  $M_{y_p}$  を合成した方向 ( $\sqrt{(M_{z_p}^2 + M_{y_p}^2)}$ ) の角度  $\theta$  を使用する。

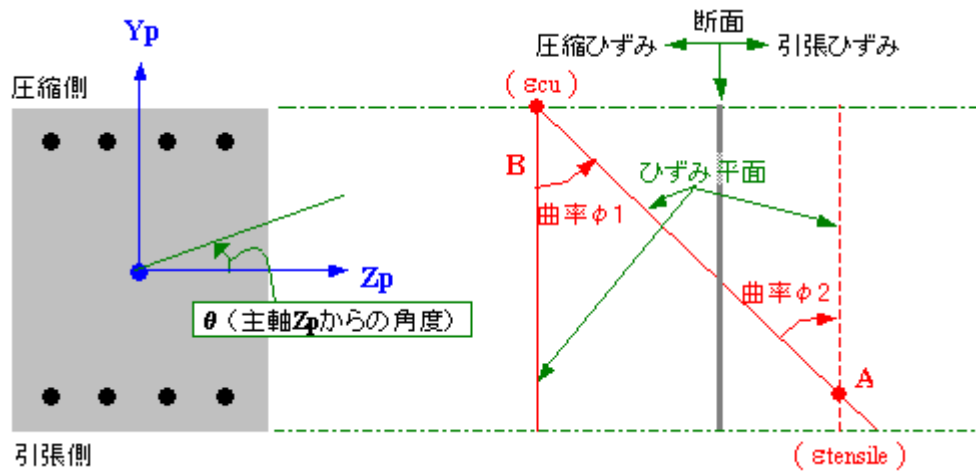
- 3次元  $M_u-N$  相互作用図の作成

断面の主軸  $Z_p$  軸を起点として反時計まわりに角度  $\theta$  を考える。

1. 圧縮側にコンクリートの終局ひずみ  $\epsilon_{cu}$  を置く。
2. ひずみ平面を断面に平行なまま終局ひずみ点まで移動する。(これを B 点とする)。そのときの応力分布を積分して求めた軸力が軸力の最大値となる。
3. 引張側に終局ひずみの規定がない場合は、プログラムは非常に大きなひずみ値を仮定する。引張側に終局ひずみの規定がある場合はそれを配置する。いずれの場合も引張側のひずみを A 点とする。  
非常に大きなひずみ値を仮定した場合は、2次元/3次元相互作用図に、それを示す緑色が表示される。  
炭素・アラミド繊維シートの場合は、破断・剥離ひずみの小さいほうの値を終局ひずみとする(これを A 点とします)。  
A 点を通り、断面に平行なひずみ平面から応力度分布を求め、これを積分して軸力の最小値とする。
4. 上記で求めた最大軸力点と最小軸力点の間を約 15 分割 ( $N_1, N_2, \dots, N_{15}$ ) する。このとき、各分割点が ( $1 \times 10^n$ ) または ( $2.5 \times 10^n$ ) または ( $5 \times 10^n$ ) の倍数になるように調整する。したがって、調整後は 15 分割よりも多く(あるいは少なく)なることがある。また、軸力がゼロの点も追加される。
5. 軸力  $N_1$  でのモーメントを求めるために、ひずみ平面の傾きを仮定する。ひずみ平面の傾きは B 点を支点にして A 点側に回転させ(曲率  $\phi_1$ )、A 点に到達するとその後は A 点を支点にして回転する向き(曲率  $\phi_2$ ) とする。
6. 仮定されたひずみ平面の傾き(曲率  $\phi_1$  または  $\phi_2$ ) から各材料の応力度分布を積分し、内力としての軸力とモーメントを計算する。



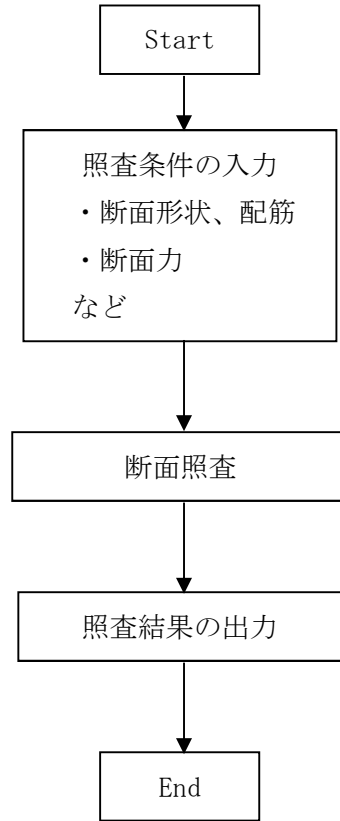
7. 与えられた軸力 $N_1$ と内力として計算された軸力が一致するまで繰り返す。
8. 軸力が収束した時点でのモーメントを終局曲げモーメント $M_u$ とする。
9. 同様な計算をその他の軸力 ( $N_2, \dots, N_{15}$ ) に対しても行う (上記5~8を繰り返す)。
10. 各軸力位置でのモーメントを結んで2次元 $M_u$ - $N$ 相互作用図 ( $\theta = 0$ 度) を作成する。
11. 同様な計算をその他の角度についても24回 ( $\theta = 0, 15, 30, \dots, 330$ 度) 行う (上記5~10)。
12. 各角度で得られた2次元 $M_u$ - $N$ 相互作用図を集めて3次元 $M_u$ - $N$ 相互作用図が完成する。



第3-1図 3次元 $M_u$ - $N$ 相互作用図の作成

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを第3-2図に示す。



第3-2図 解析フローチャート

### 3.5 検証(Verification)と妥当性(Validation)

#### a. 理論解との比較による検証

複鉄筋の計算及び2軸曲げの計算について、理論解と比較を行う。

#### (1) 複鉄筋の計算

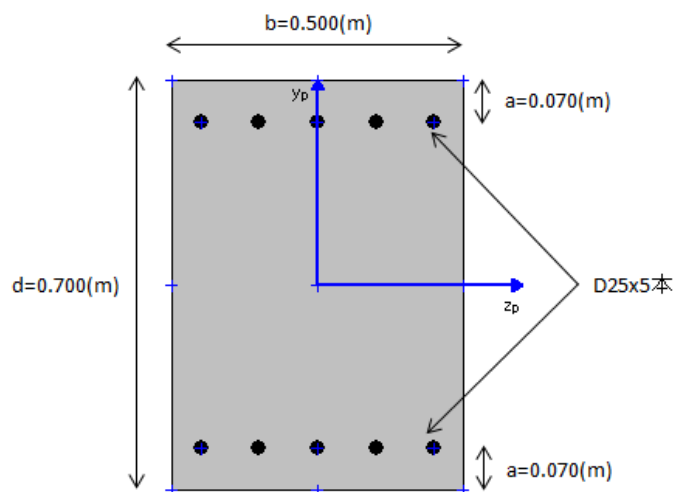
複鉄筋の断面における、コンクリートの応力度、引張鉄筋の応力度、圧縮鉄筋の応力度について、計算例と解析結果の比較を行う。

#### ・解析モデル

参考とする計算例は「実務に役立つ鉄筋コンクリート設計計算入門 計算例で学ぶ許容応力度設計法と限界状態設計法 磯貝 忠著 2006年 (株)山海堂」とし、P123の第II編第2章 複鉄筋く形断面 2.4 断面力M, Nが与えられた場合(計算例5)とする。

本計算例の解析条件は下記の通りである。解析モデルを第3-3図に示す。

- ・コンクリートの設計基準強度  $\sigma_{ck}$  : 24(N/mm<sup>2</sup>)
- ・鉄筋の強度 : SD295A
- ・ヤング係数比  $n$  : 15
- ・全幅  $b$  : 0.500(m)
- ・全高  $d$  : 0.700(m)
- ・かぶり(上下共通)  $a$  : 0.070(m)
- ・配置鉄筋(上下共通) : D25×5本
- ・軸力  $N$  : 200(kN)
- ・曲げモーメント  $M$  : 250(kN・m)



第3-3図 解析モデル(複鉄筋)

この条件での計算例の応力度結果は下記の通りとなる。

コンクリートの応力度  $\sigma_c=6.27$  (N/mm<sup>2</sup>)

引張鉄筋の応力度  $\sigma_{s1}=140.7$  (N/mm<sup>2</sup>)

圧縮鉄筋の応力度  $\sigma_{s2}=68.0$  (N/mm<sup>2</sup>)



UC-win/Sectionのコンクリートの応力度，引張鉄筋の応力度，圧縮鉄筋の応力度の解析結果を第3-4図に示す。

OK	許容曲げ応力度の照査		
	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )
白 部材1			
白 着目点 1			
└ 応力度計算	6.18 < 8.00 OK	140.41 < 180.00 OK	66.74 < 180.00 OK

第3-4図 解析結果

計算例と解析結果の比較を第3-1表に示す。

第3-1表 計算例と解析結果の比較

対象		計算例	解析結果	比率
コンクリートの応力度	(N/mm <sup>2</sup> )	6.27	6.18	101.5%
鉄筋の引張応力度	(N/mm <sup>2</sup> )	140.7	140.4	100.2%
鉄筋の圧縮応力度	(N/mm <sup>2</sup> )	68.0	66.7	101.9%

コンクリートの応力度、引張鉄筋の応力度、圧縮鉄筋の応力度が計算例と解析結果でほぼ一致しており、応力度の算出が正しく算出されていることが確認できる。

(2) 2軸曲げの計算

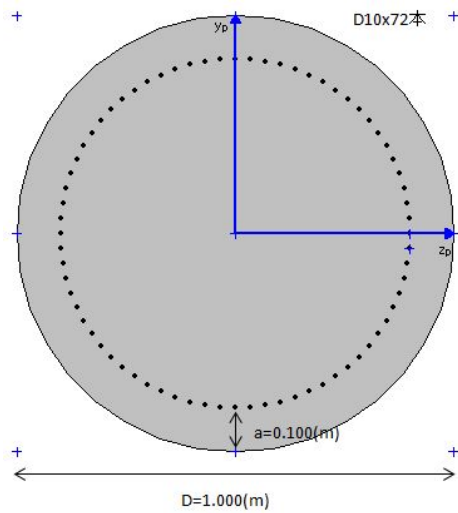
(1)の複鉄筋の計算で応力度が正しく算出できることが確認できた。2軸曲げに対し、単純な円形の断面の場合、曲げモーメントの載荷角度を変えても応力度の算出結果は変わらない。そこで2軸曲げについては、単純な円形の断面に対して、曲げモーメントの載荷角度を変化させた場合に、応力度の結果が変わらないことを確認する。

解析モデル(2軸曲げ)を第3-5図に、曲げモーメントの載荷角度を第3-6図に示す。

・解析モデル

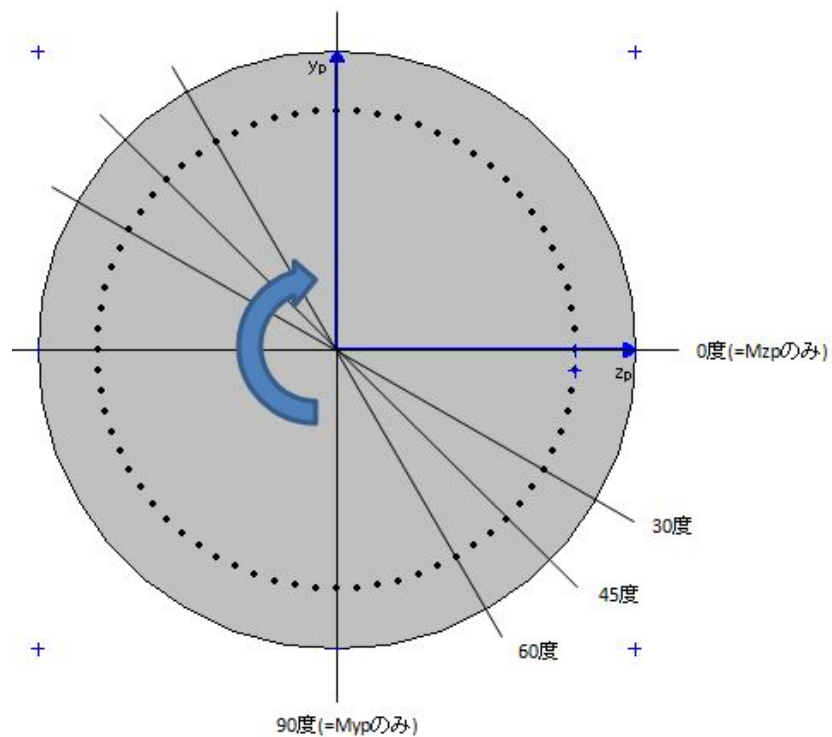
解析条件は以下の通りとする。

- ・コンクリートの設計基準強度  $\sigma_{ck}$  : 24(N/mm<sup>2</sup>)
- ・鉄筋の強度 : SD295A
- ・ヤング係数比  $n$  : 15
- ・直径  $D$  : 1.000(m)
- ・かぶり(全周共通)  $a$  : 0.100(m)
- ・配置鉄筋 : D16×36本
- ・基準曲げモーメント  $M$  : 100(kN・m)



第3-5図 解析モデル(2軸曲げ)

断面力としては、基準曲げモーメント100(kN・m)を載荷角度 $\theta = 0$ 度(= $M_{zp}$ のみ)を基準として、30度、45度、60度、90度(= $M_{yp}$ のみ)と変化させる。



第3-6図 曲げモーメントの載荷角度

各載荷角度 $\theta$ における曲げモーメントの値は下記のようなになる。

$$M_{yp} = 100 * \cos(90 - \theta)$$

$$M_{zp} = 100 * \sin(90 - \theta)$$

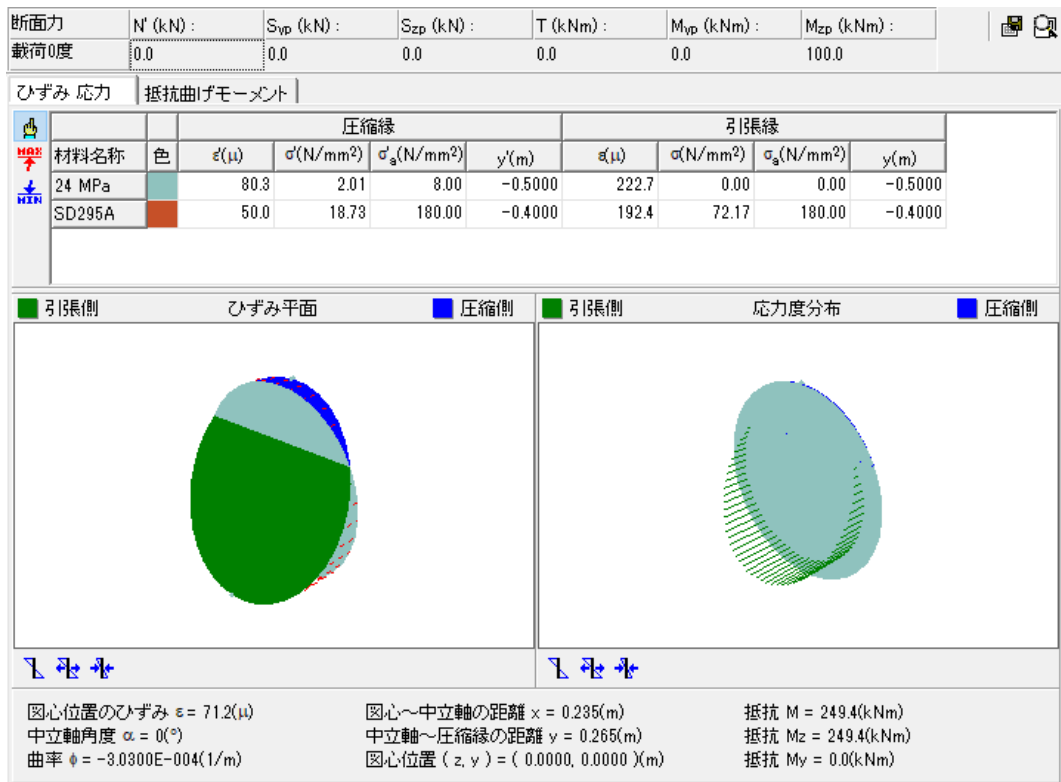
各載荷角度における曲げモーメントを第3-2表に示す。

第3-2表 各載荷角度における曲げモーメント

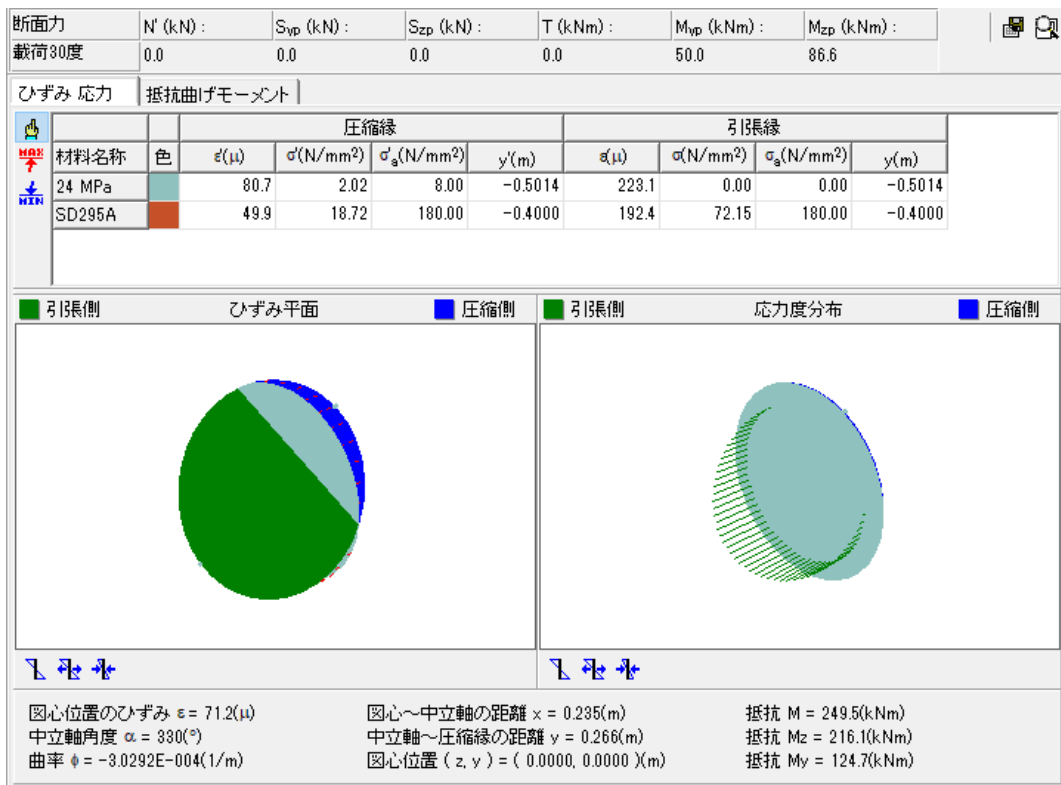
対象	角度 (度)	Myp (kN・m)	Mzp (kN・m)
0度	0	0.000	100.000
30度	30	50.000	86.603
45度	45	70.711	70.711
60度	60	86.603	50.000
90度	90	100.000	0.000

UC-win/Sectionの各載荷角度のコンクリートの応力度, 引張鉄筋の応力度, 圧縮鉄筋の応力度の結果は以降の通りである。

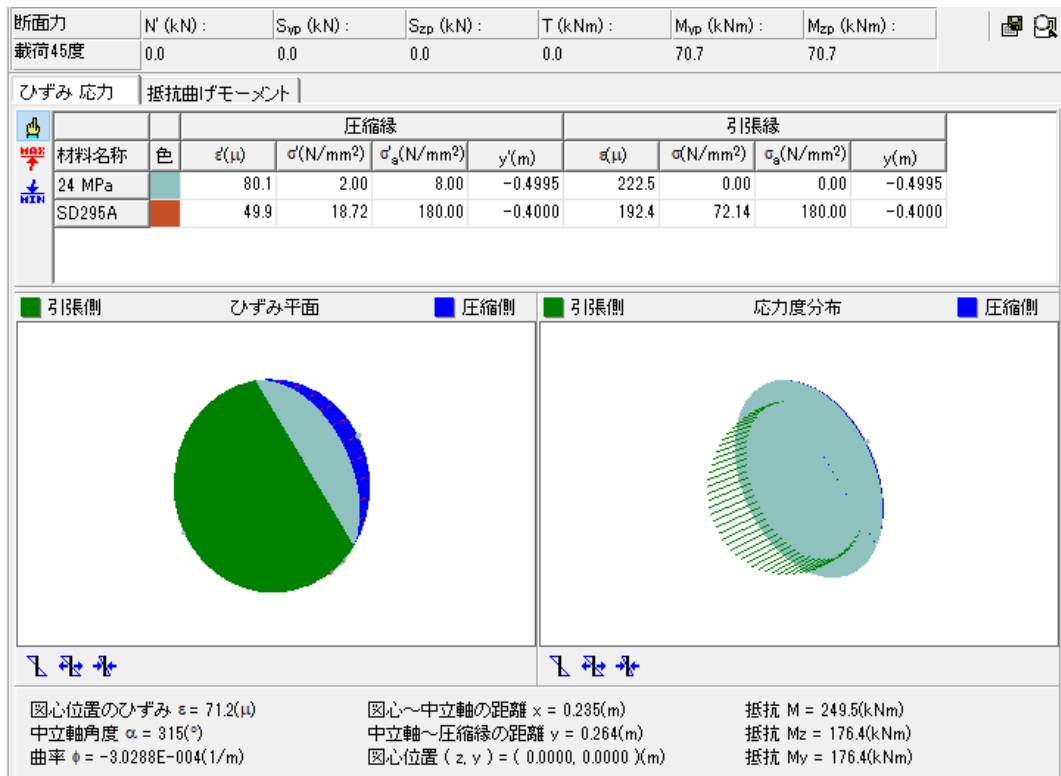
各載荷角度における解析結果を第3-7図～第3-11図に示す。



第3-7図 解析結果(載荷角度0度)

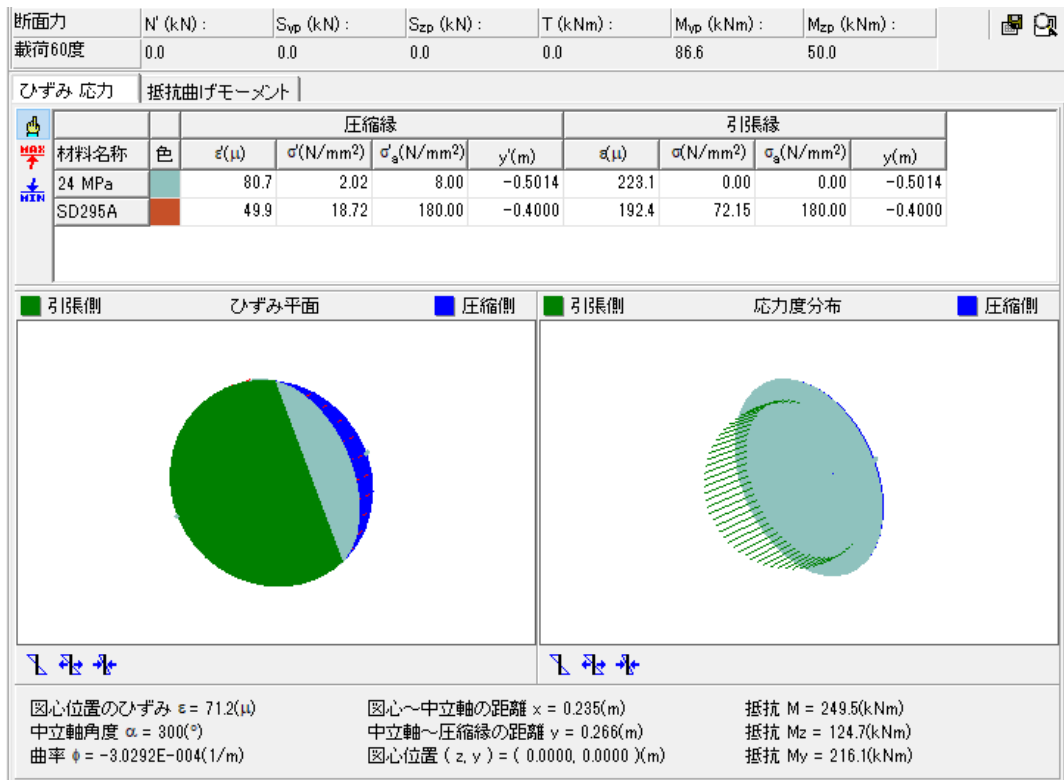


第3-8図 解析結果(載荷角度30度)

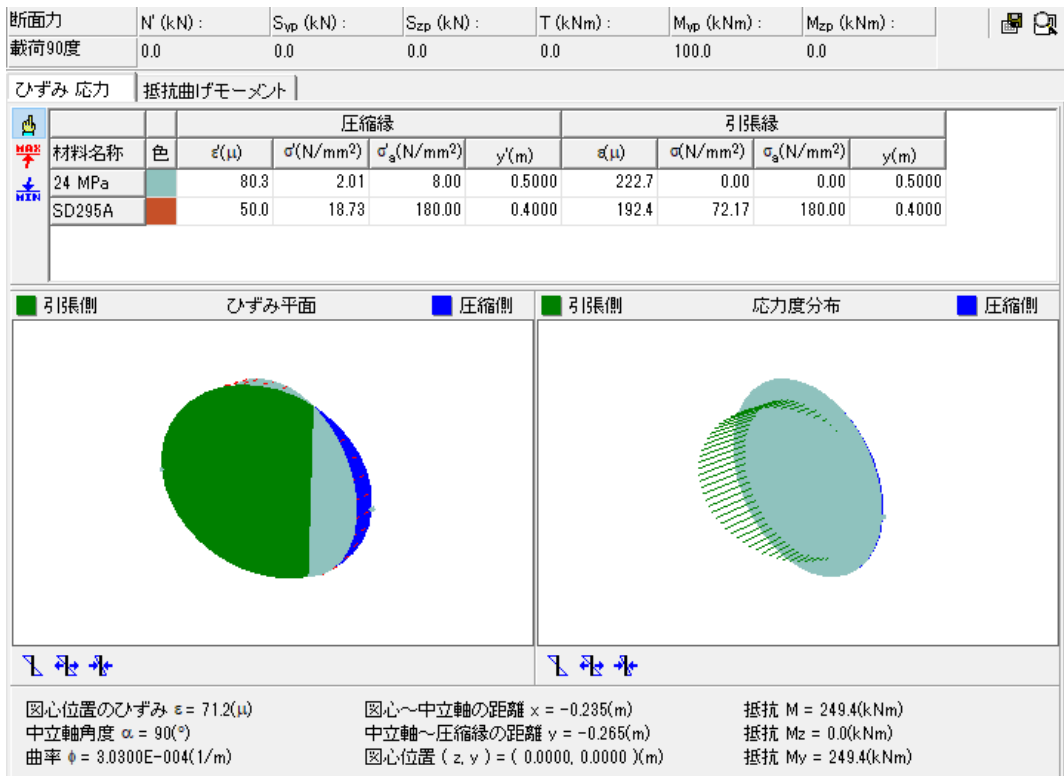


第3-9図 解析結果(載荷角度45度)





第3-10図 解析結果(載荷角度60度)



第3-11図 解析結果(載荷角度90度)

以上の結果を整理すると第3-3表の通りとなる。

第3-3表 載荷角度0度を基準とした場合の各載荷角度の比率

対象	備考	コンクリートの 応力度		鉄筋の引張応力度		鉄筋の圧縮応力度	
		解析 結果	比率	解析 結果	比率	解析 結果	比率
0度	Mzp	2.01	100.0%	72.17	100.0%	18.73	100.0%
30度		2.02	100.5%	72.15	100.0%	18.72	99.9%
45度		2.00	99.5%	72.14	100.0%	18.72	99.9%
60度		2.02	100.5%	72.15	100.0%	18.72	99.9%
90度	Myp	2.01	100.0%	72.17	100.0%	18.73	100.0%

単純な円形断面について、コンクリートの応力度、引張鉄筋の応力度、圧縮鉄筋の応力度が各載荷角度によらず、ほぼ一致していることが確認できる。よって載荷角度が変化する2軸曲げについても、応力度が正しく算出されていることが確認できる。

b. 使用内容に対する妥当性

連続壁基礎の応力度照査、耐力照査にUC-win/Sectionを使用することは、次の通り検証されており、妥当である。

- ・ 検証の内容の通り、複鉄筋及び2軸曲げ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。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-679 改2
提出年月日	平成30年9月20日

V-5-50 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ A P O L L O S u p e r D e s i g n e r S e c t i o n

## 目次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
3. APOLLO SuperDesigner Sectionの解析手法について	4
3.1 一般事項	4
3.2 解析コードの特徴	4
3.3 解析手法	5
3.4 解析フローチャート	8
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	9

## 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）APOLLO SuperDesigner Sectionについて説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	Ver. 10.11.0.3
V-3-別添3-2-1-1	防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書	Ver. 10.11.0.3

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 APOLLO SuperDesigner Section
使用目的	鋼部材の断面剛性算出
開発機関	株式会社横河技術情報
開発時期	1996年
使用したバージョン	Ver. 10.11.0.3
コードの概要	APOLLO SuperDesigner Sectionは、曲げねじり理論によって算出した断面諸量を用いて、垂直応力度・せん断応力度・ねじり応力度を算出し、各種適用許容応力度を用いて照査を行うプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>APOLLO SuperDesigner Sectionは、静的解析及び動的解析により算定された格点位置での断面力に対して応力計算を行い、各部位での発生応力が許容値内に収まっているかを照査する際の断面剛性（ねじり剛性）の算出に使用している。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b>          本解析コードの検証の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ APOLLO SuperDesigner Section を用いて算出した断面諸量(ねじり剛性)が、構造力学公式集によって算出した断面諸量 (ねじり剛性) と一致していることを確認している。</li> <li>・ 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。</li> </ul> <p><b>【妥当性検証 (Validation)】</b>          本解析コードの妥当性確認の内容は、以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 検証の内容の通り、断面諸量計算結果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。</li> </ul>

### 3. APOLLO SuperDesigner Sectionの解析手法について

#### 3.1 一般事項

APOLLO SuperDesigner Sectionは、曲げねじり理論によって算出した断面諸量を用いて、垂直応力度・せん断応力度・ねじり応力度を算出し、各種適用許容応力度を用いて照査を行うプログラムである。

#### 3.2 解析コードの特徴

APOLLO SuperDesigner Sectionの主な特徴を以下に示す。

##### 断面形状

- ・基本断面形状は、RC箱桁、鋼床版箱桁、鋼床版I桁に対応しているが、追加プログラムとして梯形断面等の任意断面の適用が可能。
- ・鋼床版のデッキプレートは重ね継ぎ手にも対応している。
- ・鋼床版の左右張り出し部と上フランジで材質、板厚を各々指定可能。
- ・鋼床版の縦リブは任意の位置に複数種類の断面の設定が可能。

##### 断面力

- ・3成分断面力、6成分断面力に対応している。
- ・鋼床版については架設系、完成系に対応している。

##### 計算方法その他

- ・せん断流の計算において、トラフリブは等価なプレートに換算して算出する。
- ・トラフリブが有効幅内かの判断は、トラフリブの中心位置が有効幅内に入っているかで判断する。
- ・板厚が40mmを超える場合には、以下の2通りの許容応力度算出方法が選択可能である。
  - ①道路橋示方書通りの許容応力度を使用する。
  - ②40mm以下の板厚と同様の許容応力度算出式を使用する。（-H仕様）
- ・部材の寸法の押さえとして、板厚の逃げ方向を以下の三種類から選択が可能。
  - ①中心押さえ
  - ②部材の定義した方向の左側押さえ
  - ③部材の定義した方向の右側押さえ
- ・縦リブ断面として①板リブ、②バルブプレート、③トラフリブの3種類が選択可能。

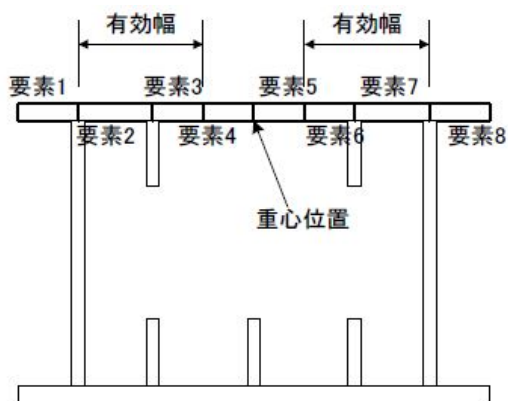


### 3.3 解析手法

#### 3.3.1 断面諸量の計算方法

小松氏の「曲げねじり理論」により算出する。

1つの部材（フランジや腹板）を、意味がある点（腹板取り付け点、重心位置、有効幅位置など）で分割したものを「要素」とし、計算は1要素毎に計算し、その合計で求める。上フランジの要素分割例を第3-1図に示す。



第3-1図 上フランジの要素分割例

#### (1) 断面積および重心位置

$$\Sigma A = \Sigma B_j \times T_j \quad \text{ここに } j: \text{各要素番号 } B: \text{幅 } T: \text{厚}$$

曲率がある場合,

$$A'_j = A_j / \rho_j \quad \text{ここに } \rho_j: \text{各要素の中心点より平面曲率中心までの距離}$$

重心位置（曲率がある場合）

$$R_0 = \Sigma A_j / \Sigma A'_j$$

$$X_c = R_0 - R$$

$$Y_c = (\Sigma (A'_j \times Y'_j)) \times R_0 / \Sigma A_j$$

ここで  $Y'_j$ : 基準軸から各要素の中心までの距離 (Y方向の距離)

#### (2) 剛度

$$I_x = R_0 \times \Sigma [(I_x'_j + A_j \times Y_j^2) / \rho_j]$$

$$I_y = R_0 \times \Sigma [(I_y'_j + A_j \times X_j^2) / \rho_j]$$

$$I_{xy} = R_0 \times \Sigma [(I_{xy}'_j + A_j \times Y_j \times X_j) / \rho_j]$$

ここで  $I_x', I_y', I_{xy}'$ : 要素自身の断面二次モーメントと相乗モーメント

$X_j, Y_j$ : 要素の重心位置座標

$I_{xy}$ は相乗曲げモーメントを考慮する場合にのみ有効となる。

(3) ねじり関数, ねじり抵抗

1室の場合

・ねじり関数

$$q_k = 1/R_0 \times \Sigma [(X_e \times Y_s - X_s \times Y_e) j / \rho j^2] / \Sigma [B_j / (\rho j^3 \times T_j)]$$

ここで  $\Sigma$  : 閉断面を構成する要素の総和

$R_0$  : 重心位置曲率半径

$\rho j$  : 要素の重心位置の曲率半径

$(X_s \times Y_s), (X_e \times Y_e)$  : 要素の終始点座標

$B_j$  : 要素の長さ

$T_j$  : 要素の板厚

・ねじり抵抗

$$J = R_0^2 \times q_k \times \Sigma [(X_e \times Y_s - X_s \times Y_e) j / \rho j^2] + \Sigma B_j \times T_j / 3$$

閉断面区間

開断面区間

3.3.2 応力度の計算方法

(1) 垂直応力度

軸力Nによる応力度

$$\sigma_n = (R / \rho) \times (N / A)$$

面内曲げモーメント $M_x$ による応力度

$$\sigma_{mx} = (R_i / \rho) \times (I_{y_i} \times y_i - I_{xy_i} \times x_i) \times M_x / (I_{x_i} \times I_{y_i} - I_{xy_i}^2)$$

面外曲げモーメント $M_y$ による応力度

$$\sigma_{my} = (R_o / \rho) \times (I_{x_o} \times x_o - I_{xy_o} \times y_o) \times M_y / (I_{x_o} \times I_{y_o} - I_{xy_o}^2)$$

ここで,  $\rho$  : 照査位置の曲率半径

	総断面	面内有効断面	面外有効断面
重心位置 (x軸)	$x_c$	$x_{c_i}$	$x_{c_o}$
重心位置 (y軸)	$y_c$	$y_{c_i}$	$y_{c_o}$
重心位置から照査位置までの距離	$x$	$x_i$	$x_o$
	$y$	$y_i$	$y_o$
重心位置の曲率半径	$R$	$R_i$	$R_o$
断面積	$A$	$A_i$	$A_o$
x軸回りの断面二次モーメント	$I_x$	$I_{x_i}$	$I_{x_o}$
y軸回りの断面二次モーメント	$I_y$	$I_{y_i}$	$I_{y_o}$
相乗モーメント	$I_{xy}$	$I_{xy_i}$	$I_{xy_o}$
ねじり定数	$J$	-	-

(2) せん断応力度

$$\tau = S_x \times qb / T_j$$

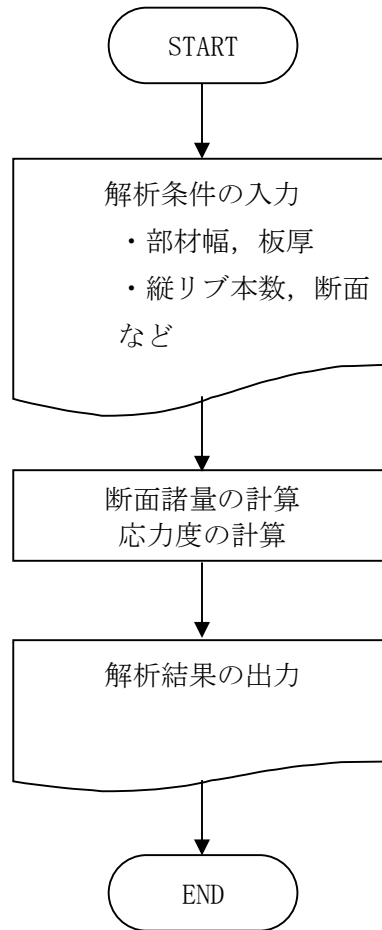
(3) ねじり応力度

$$\tau = T \times (J_1 / J) / (2 \times F \times T_j) \quad \text{閉断面}$$

$$\tau = 3 \times T \times (J_2 / J) / (B_j \times T_j) \quad \text{開断面}$$

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを第3-1図に示す。



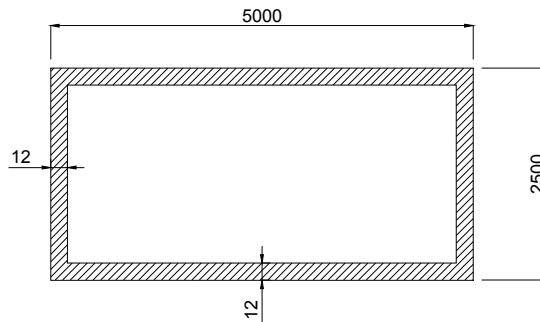
第3-2図 解析フローチャート

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

#### (1) 構造力学公式集により算出したねじり剛性比較による検証

以下に示す断面において構造力学公式集によりねじり剛性を算出し、プログラムの出力結果と比較する。

ねじり剛性算出対象断面



構造力学公式集により算出したねじり剛性

断面形	ねじり剛性 $GJ$
	$\frac{2t_1(a-t)^2(b-t_1)^2}{at+bt_1-t^2-t_1^2} G$

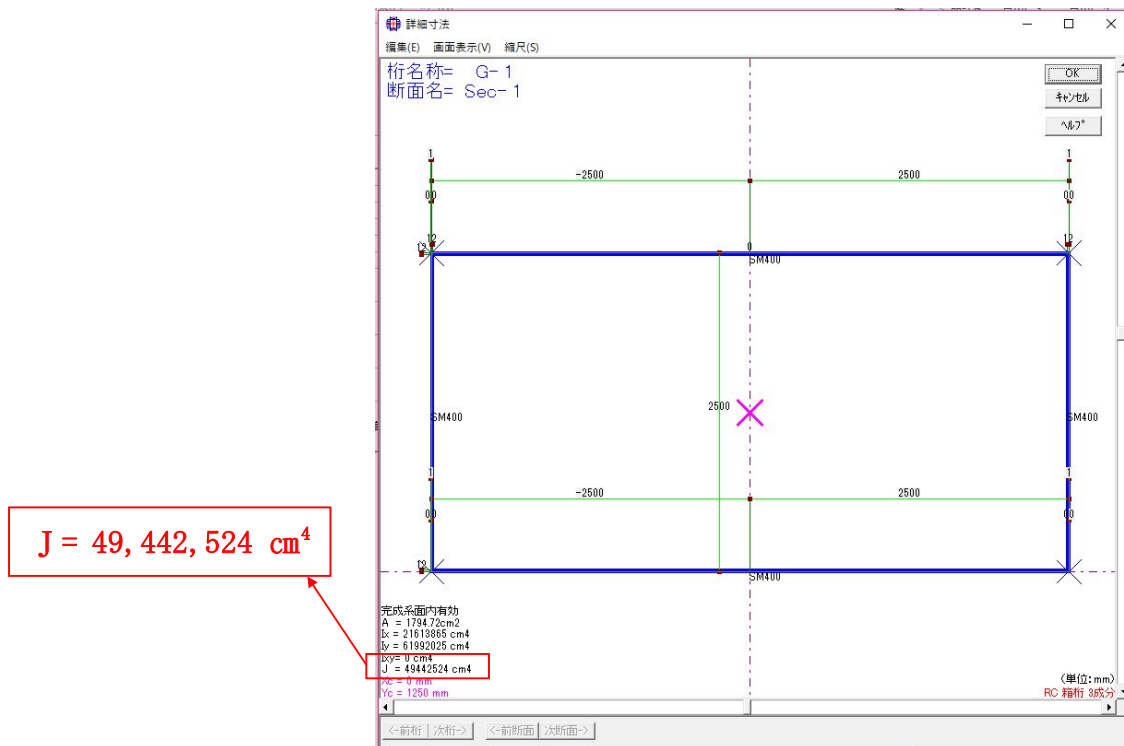
(構造力学公式集 P. 46)

第3-3図 ねじり剛性算出断面

構造力学公式集から算出するねじり剛性は以下のとおりである。

$$\begin{aligned}
 a &= 5000 \text{ (mm)} , b = 2500 \text{ (mm)} , t_1 = 12 \text{ (mm)} , t = 12 \text{ (mm)} \text{ より,} \\
 J &= \{2 \times 12 \times 12 \times (5000-12)^2 \times (2500-12)^2\} / (5000 \times 12 + 2500 \times 12 - 12^2 - 12^2) \\
 &= 494,419,499,500 \text{ (mm}^4\text{)} \\
 &= 49,441,950 \text{ (cm}^4\text{)}
 \end{aligned}$$

APOLLO SuperDesigner Section出力結果を第3-3図示す。



第3-3図 APOLLO SuperDesigner Section出力結果

構造力学公式集より算出したねじり剛性とプログラムより算出したねじり剛性の比較を第3-1表に示す。

第3-1表 計算例と解析結果の比較

	計算例	解析結果	比率
	構造力学公式集	APOLLO SuperDesigner Section	
ねじり剛性 J (cm <sup>4</sup> )	49,441,950	49,442,524	99.999%

構造力学公式集の計算結果とAPOLLO SuperDesigner Sectionの出力結果が良く一致していることを確認しており、ねじり剛性の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(2) 使用内容に対する妥当性

鋼製防護壁の鋼部材の部材連結部の設計にAPOLLO SuperDesigner Sectionによって算出したねじり剛性を使用することは、構造力学公式集による算出結果と検証を行った結果から今回の解析に使用することは妥当である。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-680 改2
提出年月日	平成30年9月20日

V-5-51 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ A P O L L O S u p e r D e s i g n e r S p l i c e

## 目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
3. APOLLO SuperDesigner Spliceの解析手法について.....	4
3.1 一般事項.....	4
3.2 解析コードの特徴.....	4
3.3 解析手法.....	5
3.4 解析フローチャート.....	8
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation) .....	9



## 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）APOLLO SuperDesigner Spliceについて説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	Ver. 10.11.0.3
V-3-別添3-1-1-1	防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書	Ver. 10.11.0.3

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 APOLLO SuperDesigner Splice
使用目的	鋼部材連結部のボルト設計・添接板応力照査
開発機関	株式会社横河技術情報
開発時期	1996年
使用したバージョン	Ver. 10.11.0.3
コードの概要	本プログラムは、道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）「高力ボルト継手」に準拠した鋼構造連結部の摩擦接合による継手計算を行うものである。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	<p><b>【検証（Verification）】</b> 本解析コードの検証の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ APOLLO SuperDesigner Splice を用いて算出した継手部における必要ボルト本数及び必要添接板厚が、道路橋示方書の規定により算出した必要ボルト本数及び必要添接板厚と一致することを確認している。</li> <li>・ 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。</li> </ul> <p><b>【妥当性検証（Validation）】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 検証の内容の通り、添接計算結果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。</li> </ul>

### 3. APOLLO SuperDesigner Spliceの解析手法について

#### 3.1 一般事項

APOLLO SuperDesigner Spliceは、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編の「高力ボルト継手」に準拠した鋼構造連結部の継手計算を行うプログラムである。

#### 3.2 解析コードの特徴

APOLLO SuperDesigner Spliceの主な特徴を以下に示す。

- ・本プログラムの添接計算は、断面単位（钣桁、箱桁など）ではなく、板単位（フランジ、腹板など）で行うため、ある程度任意の断面形状に対応している。（例外として、桁構造を想定したプログラムのため、トラス固有の添接計算方法などには対応していない）
- ・ボルト自動配置の方法は以下の方法に対応している。
  - ①建設省方式 ②道路公団大阪建設局方式 ③YTI方式それぞれの方法についてフランジ添接板を母材より5mm小さくして自動配置する事が出来る。
- ・フランジ方式の計算方法は以下の方法に対応している。
  - ①便覧方式（孔引き後の断面積で照査する方式）
  - ②橋建方式（孔引き前の断面積で照査する方式）
- ・腹板の計算方法は以下の方法に対応している。
  - ①通常方式（曲げモーメントとせん断力で計算する方法）
  - ②簡易方式（せん断力のみで計算する方法）
- ・箱桁の縦リブの孔引き照査方法は以下の方法に対応している。
  - ①縦リブ断面を母材に含めて照査する方法（縦リブの母材アップはしない考え方）
  - ②縦リブ単独で計算する方法
- ・フランジ添接板の必要断面積の考え方は以下の方法に対応している。
  - ①全添接板（両側）で必要断面積を満足する方法
  - ②片側添接板で必要断面積の1/2を満足する方法
- ・腹板の添接計算を行う場合、一番端部のボルト作用力の一部をフランジに持たせた計算方法に対応している。

### 3.3 解析手法

摩擦接合は、高力ボルトで母材及び連結板を締付け、それらの間の摩擦力によって応力を伝達させるものである。高力ボルトに摩擦接合を採用する場合には、摩擦面のすべり及び母材又は連結板の降伏に対して安全となるように設計しなければならない。設計手法は「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会、平成14年3月）の「7.3 高力ボルト継手」に則る。

#### 3.3.1 ボルトの許容力

摩擦接合のボルトの許容力は「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会、平成14年3月）の「3.2.3 溶接部及び接合用鋼材の許容応力度」の規定による。摩擦接合用高力ボルトの許容力を第3-1表に示す。

第3-1表 摩擦接合用高力ボルトの許容力（1ボルト1摩擦面あたり）  
(b)接触面に無機ジンクリッチペイントを塗布する場合

ボルトの等級 ねじの呼び	F8T	F10T	S10T
M20	35	44	44
M22	44	54	54
M24	51	63	63

(kN)

#### 3.3.2 摩擦接合用高力ボルトの設計

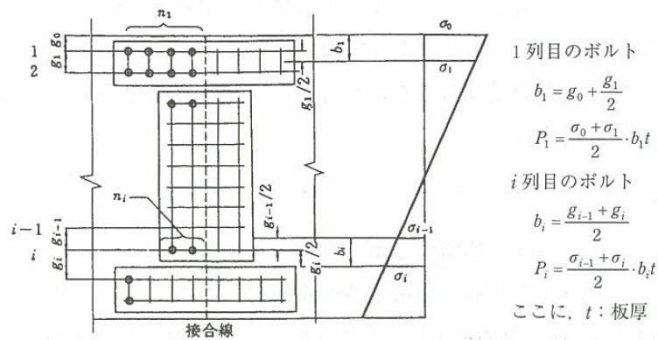
摩擦接合におけるボルトは、母材に作用する軸方向力、せん断力及び曲げモーメントに対して安全となるように設計しなければならない。全強の75%の強度を持たせる場合は、これに相当する応力に対して安全となるように設計する。

垂直応力が作用する板を連結する場合には、各列のボルトが式(3.3.2-1)を満たすように設計する。ただし、垂直応力が均等に分布している場合は、式(3.3.2-2)を満たせばよい。ボルトに作用する力を第3-1図に示す。

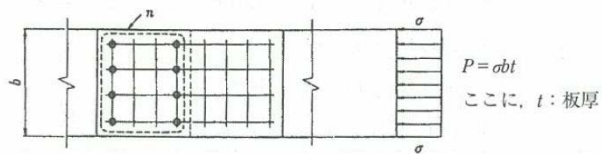
$$\rho_{pi} = \frac{P_i}{n_i} \leq \rho_a \quad (3.3.2-1)$$

$$\rho_p = \frac{P}{n} \leq \rho_a \quad (3.3.2-2)$$

- ここに、 $\rho_{pi}$  :  $i$  列目のボルト1本に作用する力 (N)  
 $\rho_p$  : ボルト1本に作用する力 (N)  
 $P_i$  :  $i$  列目の接合線の片側にあるボルト群に作用する力 (N)  
 $P$  : 接合線の片側にある全ボルトに作用する力 (N)  
 $n_i$  :  $i$  列目の接合線の片側にあるボルト群のボルト本数 (本)  
 $n$  : 接合線の片側にある全ボルトの全本数 (本)  
 $\rho_a$  : ボルト1本あたりの許容力 (N)



第3-1図(1) ボルトに作用する力（垂直応力の分布が均等でない場合）



第3-1図(2) ボルトに作用する力（垂直応力の分布が均等な場合）

せん断力が作用する板を連結する場合は、式 (3.3.2-3) を満たすように設計する。

$$\rho_s = \frac{S}{n} \leq \rho_a \quad (3.3.2-3)$$

- ここに、 $\rho_s$  : ボルト 1 本に作用する力 (N)
- $S$  : せん断力 (N)
- $n$  : 接合線の片側にあるボルトの全本数 (本)
- $\rho_a$  : ボルト 1 本あたりの許容力 (N)

### 3.3.3 連結板の設計

連結板は作用力に対して安全であると同時に、部材全体として必要な継手強度が得られるように設計しなければならない。

引張力が作用する板の連結板は、「3.3.4 純断面積」の計算に規定する純断面に生じる応力度が許容引張応力度以下となるように設計する。圧縮力が作用する板の連結板は、総断面に生じる応力度が「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成14年3月）の「3.2.1 構造用鋼材の許容応力度」に規定する許容圧縮応力度の上限値以下となるように設計する。

曲げモーメントが作用する板の連結板は、式 (3.3.3-1) を満たすように設計する。

$$\sigma = \frac{M}{I} y \leq \sigma_a \quad (3.3.3-1)$$

- ここに、 $\sigma$  : 連結板の縁端に生じる応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $M$  : 連結板に作用する曲げモーメント (N・mm)  
 $I$  : 中立軸に関する連結板の総断面の断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)  
 $y$  : 中立軸から連結板の縁端までの距離 (mm)  
 $\sigma_a$  : 道路橋示方書Ⅱ鋼橋編3.2.1に規定する許容応力度の上限値 (N/mm<sup>2</sup>)

### 3.3.4 純断面積の計算

高力ボルトの継手部の設計にあたっては、継手部の断面積を適切に考慮しなければならない。

引張材の純断面積は次の各項により計算する。

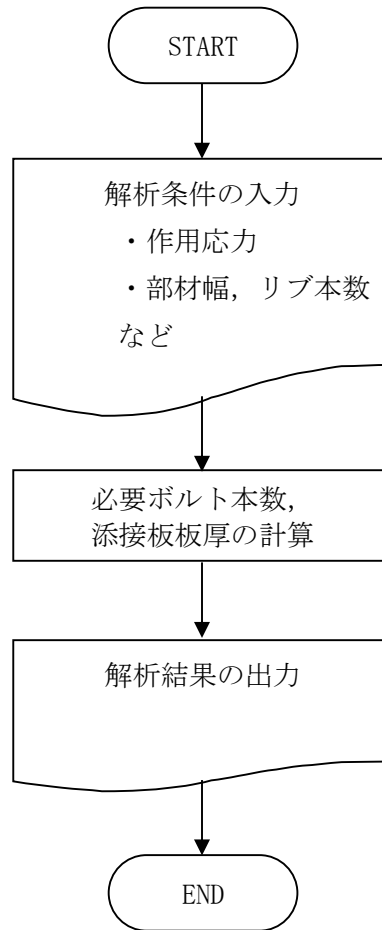
- 1) 純断面積は純幅と板厚との積とする。この場合、材片の純幅はその総幅からボルト孔により失われる幅を除いたものとする。
- 2) 摩擦接合では、母材及び連結板の純断面応力度を照査する場合に用いる純断面積は1)の規定により計算される値の1.1倍まで割増してよい。ただし、総断面積を超えてはならない。
- 3) 部材の純断面積を算定する場合のボルト孔の径は、ボルトの呼びに3mmを加えたものとする。
- 4) 千鳥にボルト締めされた材片の純幅は、純幅から考えている断面の最初のボルト孔についてその全幅を控除し、以下順次に式 (3.3.4-1) の $w$ を各ボルト孔について控除したものとする。

$$w = d - \frac{p^2}{4g} \text{ (mm)} \quad (3.3.4-1)$$

- ここに、 $d$  : ボルト孔の直径 (ボルトの呼び + 3mm)  
 $p$  : ボルトのピッチ (mm)  
 $g$  : 応力直角方向のボルト線間距離 (mm)

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを第3-2図に示す。



第3-2図 解析フローチャート



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

#### a. 道路橋示方書の規定により算出した計算結果との比較による検証

以下に示す2通りの条件において添接計算を実施した結果の比較を行う。

##### ・フランジ方式

##### 1) 計算条件

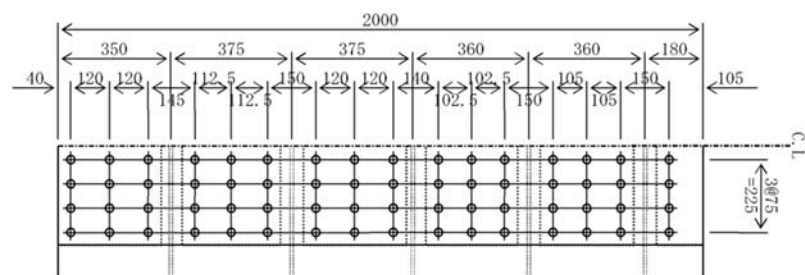
作用応力度  $\sigma_{tmax} = 36 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{cmax} = -36 \text{ N/mm}^2$

母材断面 1-Flg PL 2000 × 20 (SM490Y)

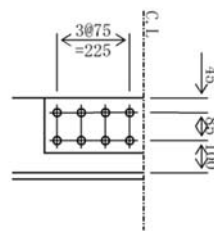
4-Rib PL 230 × 22 (SM490Y)

フランジ及びリブのボルト配置を第3-3図に示す。

フランジ



リブ



第3-3図 フランジ及びリブのボルト配置図

##### 2) 設計応力

$$0.75 \times 210 = 157.5 \text{ N/mm}^2 > 36 \text{ N/mm}^2$$

作用応力度より全強の75%の方が大きいため、設計応力は全強の75%とする。

##### 3) 母材断面積

総断面積 フランジ  $2000 \times 20 = 40000 \text{ mm}^2$

リブ  $4 \times 230 \times 22 = 20240 \text{ mm}^2$

合計  $40000 + 20240 = 60240 \text{ mm}^2$

純断面積

フランジ  $35200 \text{ mm}^2$

$$(40000 - (163 \times 25) \times 20) \times 1.1 = 35200 \text{ mm}^2 < 40000 \text{ mm}^2$$

リブ  $17420 \text{ mm}^2$

$$(20240 - 4 \times (2 \times 25) \times 22) \times 1.1 = 17424 \text{ mm}^2 < 20240 \text{ mm}^2$$

$$\text{合計 } 35200 + 17424 = 52624 \text{ mm}^2$$

4) 設計軸力

$$\text{引張力 } P_t = 157.5 \text{ N/mm}^2 \times 35200 \text{ mm}^2 / 1.1 = 5040000 \text{ N}$$

$$P_{tr} = 157.5 \text{ N/mm}^2 \times 17424 \text{ mm}^2 / 1.1 = 2494800 \text{ N}$$

$$\text{圧縮力 } P_c = 157.5 \text{ N/mm}^2 \times 40000 \text{ mm}^2 = 6300000 \text{ N}$$

$$P_{cr} = 157.5 \text{ N/mm}^2 \times 20240 \text{ mm}^2 = 3187800 \text{ N}$$

5) 必要ボルト本数

$$\text{フランジ } 6300000 \text{ N} / 108000 \text{ N} = 58.3 \text{ 本} < 64 \text{ 本使用 } \underline{\text{OK}}$$

$$\text{リブ } 3187800 \text{ N} / 108000 \text{ N} = 29.5 \text{ 本} < 32 \text{ 本使用 } \underline{\text{OK}}$$

6) 添接板必要断面積

$$\text{総断面積 フランジ } 5040000 / 210 / 2 = 12000 \text{ mm}^2$$

$$\text{リブ } 2494800 / 210 = 11880 \text{ mm}^2$$

$$\text{純断面積 フランジ } 6300000 / 210 / 2 = 15000 \text{ mm}^2$$

$$\text{リブ } 3187800 / 210 = 15180 \text{ mm}^2$$

7) 添接板厚と添接板照査

添接板厚

$$\text{フランジ 親板 } 10\text{mm}, \text{ 子板 } 16\text{mm} \quad \text{リブ } 19\text{mm}$$

添接板照査

フランジ親板

$$\text{総断面積 } 2000 \times 10 = 20000 \text{ mm}^2 = 20000 \text{ mm}^2 > 12000 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

$$\text{純断面積 } (20000 - (1 \times 25) \times 10) \times 1.1 = 17600 \text{ mm}^2 < 20000 \text{ mm}^2$$

$$= 17600 \text{ mm}^2 > 15000 \text{ mm}^2 \quad \underline{\text{OK}}$$

フランジ子板

総断面積

$$145 \times 16 + 290 \times 16 + 285 \times 16 + 2 \times 320 \times 16 + 305 \times 16$$

$$= 26640 \text{ mm}^2 > 12000 \text{ mm}^2 \quad \underline{\text{OK}}$$

純断面積

$$1.1 \times (145 \times 16 - (1 \times 25) \times 16) = 2112 \text{ mm}^2 < 2320 \text{ mm}^2$$

$$1.1 \times (290 \times 16 - (3 \times 25) \times 16) = 3784 \text{ mm}^2 < 4640 \text{ mm}^2$$

$$1.1 \times (285 \times 16 - (3 \times 25) \times 16) = 3696 \text{ mm}^2 < 4560 \text{ mm}^2$$

$$1.1 \times (2 \times 320 \times 16 - 2 \times (3 \times 25) \times 16) = 8624 \text{ mm}^2 < 10240 \text{ mm}^2$$

$$1.1 \times (305 \times 16 - (3 \times 25) \times 16) = 4048 \text{ mm}^2 < 4880 \text{ mm}^2$$

$$2112 + 3784 + 3696 + 8624 + 4048 = 22264 \text{ mm}^2 > 15180 \text{ mm}^2 \quad \underline{\text{OK}}$$

リブ

$$\text{総断面積 } 8 \times 165 \times 19 = 25080 \text{ mm}^2 > 11880 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} \text{純断面積} & (25080 - 8 \times (2 \times 25) \times 19) \times 1.1 = 19448 \text{mm}^2 < 25080 \text{mm}^2 \\ & = 19448 \text{mm}^2 > 15180 \text{mm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

・ウェブ方式の計算条件

1) 計算条件

作用応力度  $\sigma_{tmax} = 47 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{cmax} = -47 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau = 24 \text{ N/mm}^2$

母材断面 1-Web PL 4500 × 12 (SM490Y)

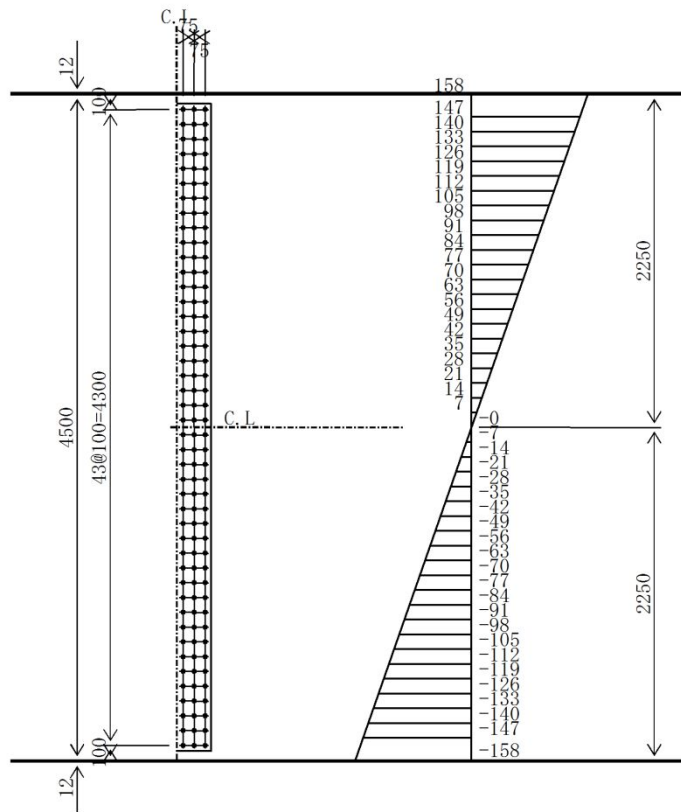
添接板断面 2-SPL PL 4380 × 9 (SM490Y)

2) 設計応力及びボルト配置

$$0.75 \times 210 = 157.5 \text{ N/mm}^2 > 47 \text{ N/mm}^2$$

作用応力度より全強の75%の方が大きいため、設計応力は全強の75%とする。

ボルト配置及び作用応力度を第3-4図に示す。



第3-4図 ボルト配置及び作用応力度

3) 必要ボルト本数

再下段のボルトで必要ボルト本数を計算する。

分担幅  $b = 150 \text{ mm}$

設計応力度  $\sigma_L = 158 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{L-1} = 147 \text{ N/mm}^2$

分担力  $PL = 150 \times 12 \times (157.5 + 147) / 2 = 274050 \text{ N}$

必要ボルト本数  $N = 274050 / 108000 = 2.5 \text{ 本} < 3 \text{ 本使用 OK}$

4) せん断力の照査

総ボルト本数  $\Sigma N = 44 \times 3 = 132$  本

ボルト1本あたりのせん断力

$$\rho_s = 24 \times 4500 \times 12 / 132 = 9818 \text{ N} < \rho_a = 108000 \text{ N OK}$$

合成応力の照査

$$\rho_\kappa = \sqrt{((274050 / 3)^2 + 9818^2)} = 91876 \text{ N} < \rho_a = 108000 \text{ N OK}$$

添接板の照査

ウェブの断面二次モーメント

$$I_w = 1/12 \times 12 \times 4500^3 = 9.1125 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

ウェブの曲げモーメント

$$M_w = \sigma \times I_w / y = 157.5 \times 9.1125 \times 10^{10} / (4500/2) = 6.37875 \times 10^9 \text{ Nmm}$$

添接板の断面二次モーメント

$$I_s = 1/12 \times 9 \times 4380^3 \times 2 = 1.26042 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

添接板の曲げ応力度

$$\sigma_s = 6.37875 \times 10^9 / 1.26042 \times 10^{11} \times (4380 / 2) = 111 \text{ N/mm}^2$$

$$< \sigma_a = 210 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

フランジ方式、ウェブ方式共に、(添付1) 及び (添付2) に示す APOLLO SuperDesigner Splice の出力結果と一致することを確認しており、添接計算が正しく実行できていることが確認できる。計算例と解析結果の比較を第3-2表に示す。

第3-2表 計算例と解析結果の比較

対 象				計算例	解析結果	比 率	
フランジ 方式	必要ボルト本数		フランジ	本	58.3	58.3	100%
			リブ	本	29.5	29.5	100%
	添接板 必要 断面積	総断面	フランジ	cm <sup>2</sup>	120.0	120.0	100%
			リブ	cm <sup>2</sup>	118.8	118.8	100%
		純断面	フランジ	cm <sup>2</sup>	150.0	150.0	100%
			リブ	cm <sup>2</sup>	151.8	151.8	100%
ウェブ 方式	必用ボルト本数			本	2.5	2.5	100%
	ボルトせん断力			N	9,818	9,818	100%
	ボルト合成応力			N	91,876	91,876	100%
	添接板応力			N/mm <sup>2</sup>	111	111	100%

b. 使用内容に対する妥当性

鋼製防護壁の鋼部材の部材連結部の設計にAPOLLO SuperDesigner Spliceを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

検証の内容のとおり、フランジ部材、腹板部材の添接計算の検証を行っていることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。

(添付1) フランジ方式 APOLLO SuperDesigner Splice 出力結果

(a) 作用応力度

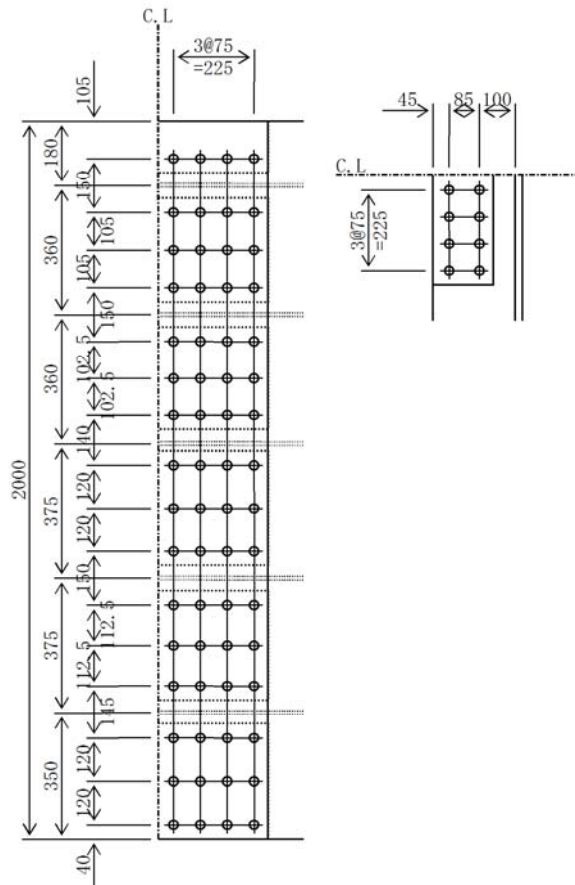
$$\begin{aligned} \sigma_{tmax} &= 36 \text{ N/mm}^2 & 0.75 \sigma_{ta} &= 0.75 \times 210 = 158 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{cmax} &= -36 \text{ N/mm}^2 & 0.75 \sigma_{ca} &= 0.75 \times 210 = 158 \text{ N/mm}^2 \\ \therefore \sigma_c &= 158 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(b) 母材総断面

$$\begin{aligned} 1\text{-FLG} & \quad \text{PL} \quad 2000 \times 20 & \quad A_g &= 400.0 \text{ cm}^2 & \quad (\text{SM490Y}) \\ 4\text{-RIB} & \quad \text{PL} \quad 230 \times 22 & \quad A_{gr} &= 202.4 \text{ cm}^2 & \quad (\text{SM490Y}) \\ \Sigma A_g &= A_g + A_{gr} = 400.0 + 202.4 = 602.4 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(c) ボルト配置図

ボルト配置図を第3-5図に示す。



第3-5図 ボルト配置及び作用応力度

(d) 母材断面の照査

$$\begin{aligned} 1\text{-FLG} & \quad \text{PL} \quad 2000 \times 20 & \quad A &= 400.0 \\ & (400 - (16 \times 2.5) \times 2.0) \times 1.1 = 352.0 < 400.0 & \therefore A_n &= 352.0 \text{ cm}^2 \\ 4\text{-RIB} & \quad \text{PL} \quad 230 \times 22 & \quad A_r &= 202.4 \\ & (202.4 - 4 \times (2 \times 2.5) \times 2.2) \times 1.1 = 174.2 < 202.4 & \therefore A_{nr} &= 174.2 \text{ cm}^2 \\ \Sigma A_n &= A_n + A_{nr} = 352.0 + 174.2 = 526.2 \text{ cm}^2 \\ \Sigma t_n &= \sigma_{tmax} \times \Sigma A_g / \Sigma A_n = 36 \times 602.4 / 526.2 = 41 \text{ N/mm}^2 \\ & & & < \sigma_a = 210 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

(e) 設計軸力

・母材  $P_t = 0.75 \sigma_{ta} \times A_n / 1.1 = 158 \times 35200 / 1.1 = 5040000 \text{ N}$   
 $\quad > \sigma_{ta} \times A_n = 41 \times 35200 = 1450595 \text{ N}$   
 $P_c = \sigma_c \times A_g = 158 \times 40000 = 6300000 \text{ N}$   
 ・リブ  $P_{tr} = 0.75 \sigma_{ta} \times A_{nr} / 1.1 = 158 \times 17424 / 1.1 = 2494800 \text{ N}$   
 $\quad > \sigma_{tn} \times A_{nr} = 41 \times 17424 = 718045 \text{ N}$   
 $P_{cr} = \sigma_c \times A_{gr} = 158 \times 20240 = 3187800 \text{ N}$

(f) 添接板必要断面積

・母材(片側)  $A_{nR} = P_t / \sigma_a / 2 = 5040000 / 210 / 2 = 12000 \text{ mm}^2 = 120.0 \text{ cm}^2$   
 $A_{gR} = P_c / \sigma_a / 2 = 6300000 / 210 / 2 = 15000 \text{ mm}^2 = 150.0 \text{ cm}^2$   
 ・リブ  $A_{nrR} = P_{tr} / \sigma_a = 2494800 / 210 = 11880 \text{ mm}^2 = 118.8 \text{ cm}^2$   
 $A_{grR} = P_{cr} / \sigma_a = 3187800 / 210 = 15180 \text{ mm}^2 = 151.8 \text{ cm}^2$

(g) 必要ボルト本数

・母材  $n = P_c / (108000 \times 1.00) = 6300000 / 108000 = 58.3 \text{ 本 (64本使用)}$   
 ・リブ  $n_r = P_{cr} / (108000 \times 1.00) = 3187800 / 108000 = 29.5 \text{ 本 (4@8=32本使用)}$   
 (高力ボルト S10T M22 2面許容摩擦力  $\rho_a = 108000 \text{ N}$  無機ジंक  $N_{max} = 4.4 \text{ 本}$ )

(h) 添接板の照査

(SM490Y) 孔引き	Ans (cm <sup>2</sup> )
1-SPL PL 2000×10 (200.0 - (16×2.5) × 1.0) × 1.1=176.0 < 200.0 ∴21.1	=AnR
=AgR	=AnR
1-SPL PL 145×16 (23.2 - (1×2.5) × 1.6) × 1.1=21.1 < 23.2 ∴21.1	
1-SPL PL 290×16 (46.4 - (3×2.5) × 1.6) × 1.1=37.8 < 46.4 ∴37.8	
1-SPL PL 285×16 (45.6 - (3×2.5) × 1.6) × 1.1=37.0 < 45.6 ∴37.0	
2-SPL PL 320×16 (102.4 - 2×(3×2.5) × 1.6) × 1.1=86.2 < 102.4 ∴86.2	
1-SPL PL 305×16 (48.8 - (3×2.5) × 1.6) × 1.1=40.5 < 48.8 ∴40.5	
266.4	222.6
>AgrR	>AnrR
8-SPL PL 165×19 (250.8 - 8×(2×2.5) × 1.9) × 1.1=192.3 < 250.8 ∴192.3	
>AgrR	>AnrR

(添付2) ウェブ方式 APOLLO SuperDesigner Splice 出力結果

(a) 作用応力度

$$1\text{-WEB} \quad \text{PL } 4500 \times 12 \quad A = 540.0 \text{ cm}^2 \quad (\text{SM490Y})$$

(b) 設計応力度

$$\sigma U = 47 \text{ N/mm}^2 < \sigma a \times 0.75 = 210 \times 0.75 = 158 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma L = -47 \text{ N/mm}^2 < \sigma a \times 0.75 = 210 \times 0.75 = 158 \text{ N/mm}^2$$

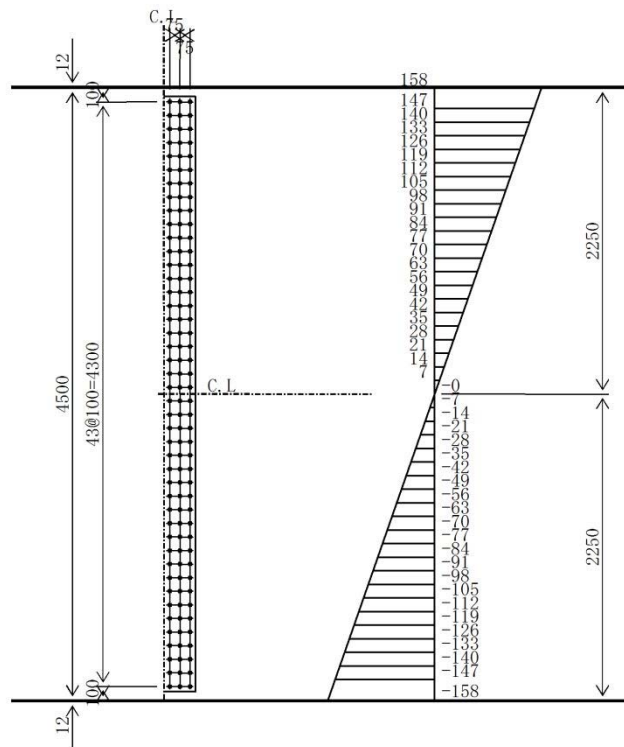
$$\sigma Un = 158 \times 47 / 47 = 158 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma Ln = 158 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 24 \text{ N/mm}^2$$

(c) ボルト配置及び作用応力度

ボルト配置及び作用応力度を第3-6図に示す。



第3-6図 ボルト配置及び作用応力度

(d) ボルトの応力度照査

44列目のボルト照査

$$\text{分担幅} \quad b1 = 15.0 \text{ cm}$$

分担する力の合計

$$P1 = 150 \times 12 \times (147 + 158) / 2 = 274050 \text{ N}$$

必要ボルト本数 (使用ボルト本数)

$$N1 = 274050 / (108000 \times 1.00) = 2.5 \text{ 本} \quad (3 \text{ 本使用})$$



せん断力の照査

$$\rho s = \tau \times A / 132 = 24 \times 54000 / 132 = 9818 \text{ N} > \rho a = 108000 \text{ N}$$

合成応力の照査

$$\rho c44 = \sqrt{((274050/3)^2 + 9818^2)} = 91876 \text{ N} > \rho a = 108000 \text{ N}$$

(高力ボルト S10T M22 2面許容摩擦力  $\rho a = 108000 \text{ N}$  無機ジンク  $N_{\max} = 3$ 本)

(e) 添接板の照査

$$2\text{-SPL PL } 4380 \times 9 \text{ As} = 788.4 \text{ cm}^2 \text{ (SM490Y)}$$

$$\text{添接板の断面2次モーメント } I_s = 12604151 \text{ cm}^4 > I_w$$

$$\text{腹板の断面2次モーメント } I_w = 9112500 \text{ cm}^4$$

腹板の受持つ曲げモーメント

$$M_w = 158 \times 9112500 \times 10^4 / 2250 = 6379 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

添接板の曲げモーメント

$$\sigma_{sp} = 6379 \times 10^6 / (12604151 \times 10^4) \times 2190 = 111 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a = 210 \text{ N/mm}^2$$



東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-681 改2
提出年月日	平成30年9月20日

V-5-52 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ APOLLO SuperDesigner Ribcheck

## 目次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
3. APOLLO SuperDesigner Ribcheckの解析手法について	4
3.1 一般事項	4
3.2 解析コードの特徴	4
3.3 解析手法	4
3.4 解析フローチャート	6
3.5 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)	7

## 1. はじめに

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

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	Ver. 10.11.0.3
V-3-別添3-2-1-1	防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書	Ver. 10.11.0.3

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 APOLLO SuperDesigner Ribcheck
使用目的	鋼部材におけるリブの応力照査
開発機関	株式会社横河技術情報
開発時期	1996年
使用したバージョン	Ver. 10.11.0.3
コードの概要	本プログラムは、道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）（4.2.5）に準拠した縦リブの剛性照査及び横リブ断面指定及び剛性照査を行うものである。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	<p>APOLLO SuperDesigner Ribcheck は、鋼製防護壁の外面鋼板の剛性確保のために設けられている縦リブについて、道路橋示方書の規定に則り、必要剛度を確保できているかの確認に使用している。</p> <p><b>【検証（Verification）】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ APOLLO SuperDesigner Ribcheck を用いて算出した縦リブの必要断面剛性と、道路橋示方書に規定されている必要剛性が一致していることを確認している。</li> <li>・ 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。</li> </ul> <p><b>【妥当性検証（Validation）】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 検証の内容の通り、道路橋示方書を満足するリブ剛性を確保できていることを照査できていることから、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。</li> </ul>

### 3. APOLLO SuperDesigner Ribcheckの解析手法について

#### 3.1 一般事項

APOLLO SuperDesigner Ribcheckは、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）（4.2.5）」に準拠した縦リブの剛性照査及び横リブ断面指定並びに剛性照査を行うプログラムである。

#### 3.2 解析コードの特徴

APOLLO SuperDesigner Ribcheckの主な特徴を以下に示す。

- ・本プログラムでは，指定した縦リブ断面に対する断面剛性照査に加えて，横リブの断面指定の有無が選択可能であり，指定した横リブ断面における剛性照査や，必要剛性を満たす最小の横リブ断面の推定も可能である。

#### 3.3 解析手法

補剛板の補剛材は，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）（4.2.5）」に準じて下記式を満たすものとする。

縦リブの必要断面積

$$A_{L_{req}} = b \times t / (10 \times n)$$

縦リブの必要剛度

$$I_{L_{req}} = b \times t^3 / 11 \times \gamma L_{req}$$

縦リブの必要剛比及び横リブの必要剛度

( $\alpha \leq \alpha_0$  かつ横リブの剛度が  $I_{c_{req}}$  を満足する場合)

$$\gamma L_{req} = 4\alpha^2 n \times (t_0/t)^2 \times (1+n \times \delta L) - (\alpha^2 + 1)^2 / n \quad (t \geq t_0)$$

$$\gamma L_{req} = -4\alpha^2 n \times (1+n \times \delta L) - (\alpha^2 + 1)^2 / n \quad (t < t_0)$$

ここに，横リブの必要剛度は，

$$I_{c_{req}} = (b \times t^3 / 11) \times \{(1+n \times \gamma L_{req}) / (4 \times \alpha^3)\}$$

(上記以外の場合)

$$\gamma L_{req} = [\{2n^2 \times (t_0/t)^2 \times (1+n \times \delta L) - 1\}^2 - 1] / n \quad (t \geq t_0)$$

$$\gamma L_{req} = [\{2n^2 \times (1+n \times \delta L) - 1\}^2 - 1] / n \quad (t < t_0)$$

ここで，

t : 補剛板の板厚 (mm)

b : 補剛板の全幅 (mm)

a : 横リブ間隔 (mm)

n : 縦リブによって区切られるパネル数

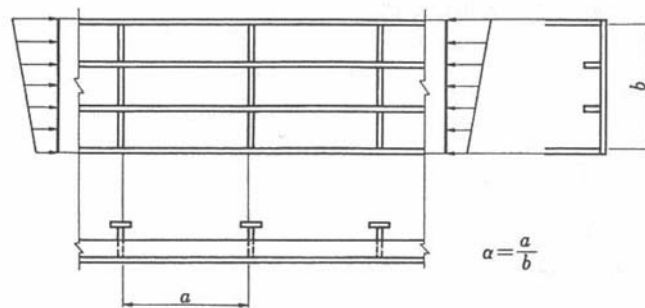


- $\alpha$  : 補剛板の縦横寸法比 (=  $a/b$ ) (第3-1図参照)
- $\alpha_0$  : 限界縦横寸法比 ( $\sqrt[4]{1+n\gamma L}$ )
- $\delta L$  : 縦リブ 1 個の断面積比 ( $AL/bt$ )
- $\gamma L$  : 縦リブの剛比 ( $IL/(bt^3/11)$ )
- $t_0$  : 板厚 (mm) (第3-1表参照)  
 道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編) ・同解説 ( (社) 日本道路協会, 平成24年3月) 表-4.2.6より
- $f$  : 応力勾配による係数 (=1)
- $AL$  : 縦リブ 1 本の断面積 ( $\text{mm}^2$ )
- $IL$  : 縦リブ 1 本の断面二次モーメント ( $\text{mm}^4$ )
- $Ic$  : 横リブ 1 本の断面二次モーメント ( $\text{mm}^4$ )

第3-1表 板厚  $t_0$

鋼 種	SS400 SM400 SMA400W	SM490	SM490Y SM520 SMA490W	SM570 SMA570W
$t_0$	$\frac{b}{28fn}$	$\frac{b}{24fn}$	$\frac{b}{22fn}$	$\frac{b}{22fn}$

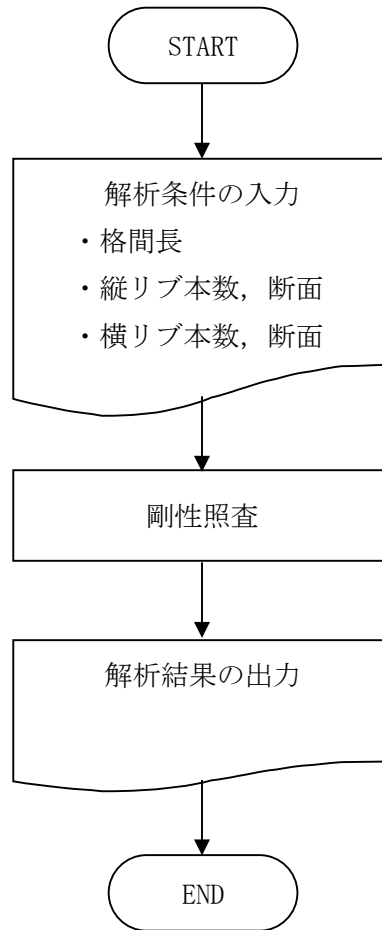
$f$ : 4.2.4 に規定する応力勾配による係数



第3-1図 補剛板の縦横寸法比  $\alpha$

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを第3-2図に示す。



第3-2図 解析フローチャート

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

#### a. 道路橋示方書の規定により算出した計算結果との比較による検証

##### 1) 設計条件

設計条件を第3-2表に示す。

第3-2表 設計条件

		単位	
補剛板厚	t	mm	30
補剛板幅	b	mm	1460
横リブ間隔	a	mm	2800
縦リブによって区切られるパネル数	n		3
補剛板の縦横寸法比	$\alpha$		1.918
限界縦横寸法比	$\alpha_0$		3.239
縦リブ1個の断面比	$\delta L$		0.143
縦リブの剛比	$\gamma L$		36.33
「道示Ⅱ・表-4.2.6」に示す板厚	$t_0$	mm	22.1
応力勾配による係数 (=1)	f		1
縦リブ1本の断面積	AL	mm <sup>2</sup>	6250
縦リブ1本の断面二次モーメント	IL	mm <sup>4</sup>	130208333
縦リブ断面幅	Br	mm	250
縦リブ断面板厚	tr	mm	25
補剛板材質			SM490Y

##### 2) 剛度照査

$$A = 250 \times 25 = 6250 \text{ mm}^2$$

$$I = (25 \times 250^3) / 12 + (25 \times 250) \times (250/2)^2 = 130208333 \text{ mm}^4$$

$$\gamma = 130208333 / \{(1460 \times 30^3) / 11\} = 36.33$$

$$\alpha = 1.918, \alpha_0 = 3.239 \text{ より } \alpha \leq \alpha_0$$

$$t = 30\text{mm}, t_0 = 22.1\text{mm} \text{ より } t \geq t_0$$

従って、式(4.2.5)\*より、

$$\begin{aligned} \gamma L_{\text{req}} &= 4 \times 1.918^2 \times 3 \times (22.1/30)^2 \times (1 + 3 \times 0.143) - (1.918^2 + 1)^2 / 3 \\ &= 26.976 < \gamma L_{\text{req}} = 36.33 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$AL_{\text{req}} = 1460 \times 30 / (10 \times 3) = 1460 \text{ mm}^2 < AL = 6250 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

$$IL_{\text{req}} = 1460 \times 30^3 \times 26.976 / 11 = 96672175 \text{ mm}^4 < IL = 130208333 \text{ mm}^4 \quad \text{OK}$$

注記 \* : 道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編) ・同解説 ( (社) 日本道路協会, 平成24年3月) の式 (4.2.5) より

以下に添付する、APOLLO SuperDesigner Ribcheckの出力結果と一致することを確認しており、縦リブの剛性照査が正しく実行できていることが確認できる。

計算例と解析結果の比較を第3-3表に示す。

第3-3表 計算例と解析結果の比較

対 象		計算例	解析結果	比 率	
断面積	cm <sup>2</sup>	AL	62.50	62.50	100%
	cm <sup>2</sup>	AL <sub>req</sub>	14.60	14.60	100%
剛度	cm <sup>4</sup>	IL	13021	13021	100%
	cm <sup>4</sup>	IL <sub>req</sub>	9667	9667	100%
剛比	-	$\gamma L$	36.33	36.33	100%
	-	$\gamma_{req}$	26.976	26.976	100%

b. 使用内容に対する妥当性

鋼製防護壁の外側鋼板の剛性確保のために設けられている縦リブの剛性照査に、APOLLO SuperDesigner Ribcheckを使用することは、次の通り本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・検証の内容の通り、縦リブの必要断面積と必要剛度の照査の検証を行っていることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。

(添付) APOLLO SuperDesigner Ribcheck 出力結果

パネル長	: 2800 mm	横リブ本数	: 0 本	横リブ間隔 (a)	: 2800 mm
補剛板材質	: SM490Y	補剛板幅 (b)	: 1460 mm	補剛板厚 (t)	: 30 mm
縦リブ本数	: 2本	縦リブ高	: 250 mm	縦リブ厚	: 25 mm

$$\begin{aligned}AL &= 25.0 \times 2.5 = 62.50 \text{ cm}^2 & IL &= 25.0^3 \times 2.5 / 3 = 13021 \text{ cm}^4 \\ \delta L &= 62.5 / (146.0 \times 3.0) = 0.143 & \gamma L &= 13021 / (146.0 \times 3.0^3 / 11) = 36.33 \\ \alpha &= 280.00 / 146.0 = 1.918 & \alpha_0 &= \sqrt[4]{1 + 3 \times 36.33} = 3.239 \\ t_0 &= 146.0 / (22 \times 1.000 \times 3) = 2.21 \text{ cm} & t &= 3.0 \text{ cm}\end{aligned}$$

$\alpha \leq \alpha_0$ ,  $t \geq t_0$ , なので「道示Ⅱ・式 (4.2.5)」より

$$\begin{aligned}\gamma L_{\text{req}} &= 4 \times 1.918^2 \times 3 \times (2.2 / 3)^2 \times (1 + 3 \times 0.143) - (1.918^2 + 1)^2 / 3 = 26.976 \\ AL_{\text{req}} &= 146.0 \times 30 / (10 \times 3) = 14.60 \text{ cm}^2 < AL = 62.50 \text{ cm}^2 \\ IL_{\text{req}} &= 146.0 \times 30^3 \times 26.976 / 11 = 9667 \text{ cm}^4 < IL = 13021 \text{ cm}^4\end{aligned}$$