

本資料のうち枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0100_改2
提出年月日	2021年9月7日

VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要

2021年9月

東北電力株式会社

目次

- VI-5-1 計算機プログラム (解析コード) の概要・TONBOS
- VI-5-2 計算機プログラム (解析コード) の概要・BG0195HDW1
- VI-5-3 計算機プログラム (解析コード) の概要・COSTANA
- VI-5-4 計算機プログラム (解析コード) の概要・FLIP
- VI-5-5 計算機プログラム (解析コード) の概要・LIQUEUR
- VI-5-6 計算機プログラム (解析コード) の概要・SAC2D
- VI-5-7 計算機プログラム (解析コード) の概要・SLIP02HDW1
- VI-5-8 計算機プログラム (解析コード) の概要・stress-NLAP
- VI-5-9 計算機プログラム (解析コード) の概要・suberi_sf
- VI-5-10 計算機プログラム (解析コード) の概要・suberi_Type6789_SAC2D-HD1
- VI-5-11 計算機プログラム (解析コード) の概要・SuperFLUSH/2D
- VI-5-12 計算機プログラム (解析コード) の概要・VESL-DYN
- VI-5-13 計算機プログラム (解析コード) の概要・ABAQUS
- VI-5-14 計算機プログラム (解析コード) の概要・FDT^s
- VI-5-15 計算機プログラム (解析コード) の概要・DORT
- VI-5-16 計算機プログラム (解析コード) の概要・SCALE
- VI-5-17 計算機プログラム (解析コード) の概要・ORIGEN2
- VI-5-18 計算機プログラム (解析コード) の概要・QAD-CGGP2R
- VI-5-19 計算機プログラム (解析コード) の概要・ANISN
- VI-5-20 計算機プログラム (解析コード) の概要・G33-GP2R
- VI-5-21 計算機プログラム (解析コード) の概要・MAAP
- VI-5-22 計算機プログラム (解析コード) の概要・ANSYS
- VI-5-23 計算機プログラム (解析コード) の概要・GOTHIC
- VI-5-24 計算機プログラム (解析コード) の概要・ISAP
- VI-5-25 計算機プログラム (解析コード) の概要・NX NASTRAN
- VI-5-26 計算機プログラム (解析コード) の概要・SAP-V
- VI-5-27 計算機プログラム (解析コード) の概要・SOLVER
- VI-5-28 計算機プログラム (解析コード) の概要・ADMITHF
- VI-5-29 計算機プログラム (解析コード) の概要・mflow
- VI-5-30 計算機プログラム (解析コード) の概要・NUPP4
- VI-5-31 計算機プログラム (解析コード) の概要・SHAKE
- VI-5-32 計算機プログラム (解析コード) の概要・SLAP

- VI-5-33 計算機プログラム (解析コード) の概要・Ark Quake
- VI-5-34 計算機プログラム (解析コード) の概要・Soil Plus
- VI-5-35 計算機プログラム (解析コード) の概要・WCOMD Studio
- VI-5-36 計算機プログラム (解析コード) の概要・microSHAKE/3D
- VI-5-37 計算機プログラム (解析コード) の概要・TDAPIII
- VI-5-38 計算機プログラム (解析コード) の概要・UC-win/WCOMD
- VI-5-39 計算機プログラム (解析コード) の概要・NOVAK
- VI-5-40 計算機プログラム (解析コード) の概要・MSC NASTRAN
- VI-5-41 欠番
- VI-5-42 計算機プログラム (解析コード) の概要・SCC
- VI-5-43 計算機プログラム (解析コード) の概要・BSPAN2
- VI-5-44 計算機プログラム (解析コード) の概要・CARO
- VI-5-45 計算機プログラム (解析コード) の概要・FURST
- VI-5-46 計算機プログラム (解析コード) の概要・PRIME
- VI-5-47 計算機プログラム (解析コード) の概要・ASHSD
- VI-5-48 計算機プログラム (解析コード) の概要・PIPE
- VI-5-49 計算機プログラム (解析コード) の概要・STAX
- VI-5-50 計算機プログラム (解析コード) の概要・A-SAFIA
- VI-5-51 計算機プログラム (解析コード) の概要・DYNA2E
- VI-5-52 計算機プログラム (解析コード) の概要・SAP-IV
- VI-5-53 計算機プログラム (解析コード) の概要・KSAP
- VI-5-54 計算機プログラム (解析コード) の概要・NuPIAS
- VI-5-55 計算機プログラム (解析コード) の概要・microSHAKE
- VI-5-56 計算機プログラム (解析コード) の概要・UC-win/Section
- VI-5-57 計算機プログラム (解析コード) の概要・RC 断面計算
- VI-5-58 計算機プログラム (解析コード) の概要・APOLLO Analyzer
- VI-5-59 計算機プログラム (解析コード) の概要・APOLLO SuperDesigner Section
- VI-5-60 計算機プログラム (解析コード) の概要・FRAME マネージャ
- VI-5-61 計算機プログラム (解析コード) の概要・FRAME (面内)
- VI-5-62 計算機プログラム (解析コード) の概要・Engineer's Studio
- VI-5-63 計算機プログラム (解析コード) の概要・fappase
- VI-5-64 計算機プログラム (解析コード) の概要・KANSAS2
- VI-5-65 計算機プログラム (解析コード) の概要・MSAP (配管)
- VI-5-66 計算機プログラム (解析コード) の概要・STRUCT

- VI-5-67 計算機プログラム（解析コード）の概要・NAPF
- VI-5-68 計算機プログラム（解析コード）の概要・FRS Calculation System
- VI-5-69 計算機プログラム（解析コード）の概要・LS-DYNA
- VI-5-70 計算機プログラム（解析コード）の概要・ADMIT
- VI-5-71 計算機プログラム（解析コード）の概要・VIANA
- VI-5-72 計算機プログラム（解析コード）の概要・Fluent
- VI-5-73 計算機プログラム（解析コード）の概要・CHERRY
- VI-5-74 計算機プログラム（解析コード）の概要・FACS
- VI-5-75 計算機プログラム（解析コード）の概要・FRS Enveloping for BWR
- VI-5-76 計算機プログラム（解析コード）の概要・COM3
- VI-5-77 計算機プログラム（解析コード）の概要・GETFLOWS
- VI-5-78 計算機プログラム（解析コード）の概要・AutoPIPE
- VI-5-79 計算機プログラム（解析コード）の概要・CR-IN
- VI-5-80 計算機プログラム（解析コード）の概要・Com3EvalSh

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（1/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-1					
VI-1-1-2-3-2	竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定	資料番号	VI-5-1					
		コード名	TONBOS					
VI-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	資料番号	VI-5-2	VI-5-3	VI-5-4	VI-5-5	VI-5-6	VI-5-7
		コード名	BG0195HDW1	COSTANA	FLIP	LIQUEUR	SAC2D	SLIPO2HDW1
		資料番号	VI-5-8	VI-5-9	VI-5-10	VI-5-11	VI-5-12	
		コード名	stress-NLAP	suberi_sf	suberi_Type6789_SAC2D-HD1	SuperFLUSH/2D	VESL-DYN	
VI-1-1-7	発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書	資料番号	VI-5-14					
		コード名	FDT*					
VI-1-1-8-3	溢水評価条件の設定	資料番号	VI-5-24	VI-5-27	VI-5-72			
		コード名	ISAP	SOLVER	Fluent			
VI-1-1-8-4	溢水影響に関する評価	資料番号	VI-5-72					
		コード名	Fluent					
VI-1-2-2	原子炉圧力容器の脆性破壊防止に関する説明書	資料番号	VI-5-15					
		コード名	DORT					
VI-1-3-2	燃料取扱設備、新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	資料番号	VI-5-16					
		コード名	SCALE					
VI-1-3-4	使用済燃料貯蔵槽の冷却能力に関する説明書	資料番号	VI-5-17					
		コード名	ORIGEN2					
VI-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	資料番号	VI-5-17	VI-5-18				
		コード名	ORIGEN2	QAD-CGGP2R				
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	資料番号	VI-5-17	VI-5-18	VI-5-19	VI-5-20	VI-5-21	
		コード名	ORIGEN2	QAD-CGGP2R	ANISN	G33-GP2R	MAAP	
VI-1-8-1	原子炉格納施設の設計条件に関する説明書	資料番号	VI-5-13	VI-5-17	VI-5-18	VI-5-21	VI-5-22	
		コード名	ABAQUS	ORIGEN2	QAD-CGGP2R	MAAP	ANSYS	
VI-1-8-2	原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書	資料番号	VI-5-23					
		コード名	GOTHIC					
VI-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	資料番号	VI-5-17	VI-5-18	VI-5-19	VI-5-20		
		コード名	ORIGEN2	QAD-CGGP2R	ANISN	G33-GP2R		
VI-2-1-3	地盤の支持性能に係る基本方針	資料番号	VI-5-77					
		コード名	GETFLOWS					
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	資料番号	VI-5-68	VI-5-71	VI-5-73	VI-5-74	VI-5-75	
		コード名	FRS Calculation System	VIANA	CHERRY	FACS	FRS Enveloping for BWR	

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（2/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27		
VI-2-1-12-1	配管及び支持構造物の耐震計算について	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27		
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER		
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-29	VI-5-30	VI-5-31		
		コード名	ADMITHF	mflow	NUPP4	SHAKE		
VI-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-29	VI-5-30	VI-5-31		
		コード名	ADMITHF	mflow	NUPP4	SHAKE		
VI-2-2-3	制御建屋の地震応答計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-30				
		コード名	ADMITHF	NUPP4				
VI-2-2-4	制御建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-13	VI-5-28	VI-5-30			
		コード名	ABAQUS	ADMITHF	NUPP4			
VI-2-2-5	復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32				
		コード名	SHAKE	SLAP				
VI-2-2-6	復水貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32					
		コード名	SLAP					
VI-2-2-7	海水ポンプ室の地震応答計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34				
		コード名	Ark Quake	Soil Plus				
VI-2-2-8	海水ポンプ室の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-76	VI-5-80				
		コード名	COM3	Com3EvalSh				
VI-2-2-9	第3号機海水ポンプ室の地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-33	VI-5-34			
		コード名	FLIP	Ark Quake	Soil Plus			
VI-2-2-10	第3号機海水ポンプ室の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-76	VI-5-80				
		コード名	COM3	Com3EvalSh				
VI-2-2-11	原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の地震応答計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34				
		コード名	Ark Quake	Soil Plus				
VI-2-2-12-1	原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-35					
		コード名	WCOMD Studio					
VI-2-2-12-2	原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-35	VI-5-37		
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	WCOMD Studio	TDAPIII		
VI-2-2-13	軽油タンク室の地震応答計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32				
		コード名	SHAKE	SLAP				
VI-2-2-14	軽油タンク室の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32					
		コード名	SLAP					
VI-2-2-15	軽油タンク室（H）の地震応答計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32				
		コード名	SHAKE	SLAP				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（3/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-32					
VI-2-2-16	軽油タンク室 (H) の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32					
		コード名	SLAP					
VI-2-2-17	ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-36	VI-5-37			
		コード名	FLIP	microSHAKE/3D	TDAPIII			
VI-2-2-18	ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32					
		コード名	SLAP					
VI-2-2-19	軽油タンク連絡ダクトの地震応答計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32				
		コード名	SHAKE	SLAP				
VI-2-2-20	軽油タンク連絡ダクトの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-38					
		コード名	UC-win/WCOMD					
VI-2-2-21	緊急用電気品建屋の地震応答計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-30	VI-5-31	VI-5-39		
		コード名	ADMITHF	NUPP4	SHAKE	NOVAK		
VI-2-2-22	緊急用電気品建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-2-23	緊急時対策建屋の地震応答計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-30	VI-5-31	VI-5-39		
		コード名	ADMITHF	NUPP4	SHAKE	NOVAK		
VI-2-2-24	緊急時対策建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-2-25	排気筒基礎の地震応答計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-37				
		コード名	SHAKE	TDAPIII				
VI-2-2-26	排気筒基礎の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32					
		コード名	SLAP					
VI-2-2-27	排気筒連絡ダクトの地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31	VI-5-32			
		コード名	FLIP	SHAKE	SLAP			
VI-2-2-28	排気筒連絡ダクトの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-38					
		コード名	UC-win/WCOMD					
VI-2-2-29	第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-29	VI-5-30	VI-5-31		
		コード名	ADMITHF	mflow	NUPP4	SHAKE		
VI-2-2-30	第3号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-29	VI-5-30	VI-5-31		
		コード名	ADMITHF	mflow	NUPP4	SHAKE		
VI-2-3-2	炉心、原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書	資料番号	VI-5-37	VI-5-42				
		コード名	TDAPIII	SCC				
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-22	VI-5-43	VI-5-44	VI-5-45	VI-5-46	
		コード名	ANSYS	BSPAN2	CARO	FURST	PRIME	
VI-2-3-3-2-3	シュラウドサポートの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-47	VI-5-48	VI-5-49			
		コード名	ASHSD	PIPE	STAX			

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（4/16）

目録番号	目録名称	適用コード名					
		資料番号	VI-5-37				
VI-2-3-3-2-4	炉心シュラウド支持ロッドの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-37				
		コード名	TDAPIII				
VI-2-3-3-2-8	制御棒案内管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-50				
		コード名	A-SAFIA				
VI-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-47	VI-5-48	VI-5-49	VI-5-50	
		コード名	ASHSD	PIPE	STAX	A-SAFIA	
VI-2-3-4-2-2	原子炉格納容器スタビライザの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-3-4-2-3	制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-3-4-3-11	中性子束計測案内管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-4-2-1	使用済燃料プール（キャスクビットを含む）（第1, 2号機共用）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-4-2-2	使用済燃料貯蔵ラック（第1, 2号機共用）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-4-2-3	制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-4-2-4	使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-22				
		コード名	ANSYS				
VI-2-4-2-5	使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-4-3-1-3	管の耐震性についての計算書（燃料プール冷却浄化系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（燃料プール代替注水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（燃料プールのスプレイ系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-5-2-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉再循環系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-5-3-1-2	管の耐震性についての計算書（主蒸気系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27	
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER	
VI-2-5-3-2-1	管の耐震性についての計算書（復水給水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（5/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-40					
VI-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	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-5-4-1-4	管の耐震性についての計算書（残留熱除去系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-4-1-5	ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-2-5-4-2-1	管の耐震性についての計算書（耐圧強化ベント系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-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	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-5-5-1-3	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-5-1-4	ストレーナ部ティーの耐震計算書（高圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-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	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-5-5-2-3	管の耐震性についての計算書（低圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-5-2-4	ストレーナ部ティーの耐震計算書（低圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-2-5-5-3-2	管の耐震性についての計算書（高圧代替注水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-5-4-2	管の耐震性についての計算書（低圧代替注水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-5-5-1	管の耐震性についての計算書（代替水源移送系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-6-1-3	管の耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-6-2-3	管の耐震性についての計算書（補給水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-7-1-3	原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27	VI-5-65	
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER	MSAP (配管)	
VI-2-5-7-2-3	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（6/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27	VI-5-65	
VI-2-5-7-2-5	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレー補機冷却水系及び高圧炉心スプレー補機冷却海水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27	VI-5-65	
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER	MSAP (配管)	
VI-2-5-7-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉補機代替冷却水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-8-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉冷却材浄化系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-6-2-1	制御棒の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-79					
		コード名	CR-IN					
VI-2-6-3-2-1	水圧制御ユニットの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-27					
		コード名	SOLVER					
VI-2-6-3-2-2	管の耐震性についての計算書（制御棒駆動水圧系）	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				
VI-2-6-4-1-3	管の耐震性についての計算書（ほう酸水注入系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-6-5-1-1	起動領域モニタの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-6-5-1-2	出力領域モニタの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-6-5-4-2-1	ドライウェル温度の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-6-5-4-2-3	サプレッションプール水温度の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-6-5-4-2-4	原子炉格納容器下部温度の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-6-5-4-4-1	格納容器内水素濃度(D/W)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-6-5-4-4-2	格納容器内水素濃度(S/C)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-6-5-8-2	原子炉格納容器下部水位の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-6-5-9-1	原子炉建屋内水素濃度の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書（高圧窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27		
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER		
VI-2-6-6-2-1	管の耐震性についての計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26			
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V			

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（7/16）

目録番号	目録名称	適用コード名					
		資料番号	コード名				
VI-2-6-7-2-2	衛星電話設備（屋外アンテナ）（中央制御室）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-6-7-2-4	衛星電話設備（屋外アンテナ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-6-7-3-2	無線連絡設備（屋外アンテナ）（中央制御室）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-6-7-3-4	無線連絡設備（屋外アンテナ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-6-7-7	統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-6-7-8	統合原子力防災ネットワーク用通信機器収容架の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-6-7-18	静的触媒式水素再結合装置動作監視装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-7-2-1	排気筒の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-51				
		コード名	DYNA2E				
VI-2-7-3-1-1	管の耐震性についての計算書（放射性ドレン移送系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-8-2-1-1-1	主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-8-2-1-2-1	格納容器内雰囲気放射線モニタ（D/W）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-8-2-1-2-2	格納容器内雰囲気放射線モニタ（S/C）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-8-2-1-3-2	フィルタ装置出口放射線モニタの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-8-2-1-3-3	燃料取替エリア放射線モニタの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-8-2-2-1-1	使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-8-2-2-1-2	使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-8-3-1-1	中央制御室換気空調系ダクトの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52				
		コード名	SAP-IV				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（8/16）

目録番号	目録名称	適用コード名					
		資料番号	VI-5-52				
VI-2-8-3-2-1	緊急時対策所換気空調系ダクトの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52				
		コード名	SAP-IV				
VI-2-8-3-2-2	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所換気空調系）	資料番号	VI-5-25	VI-5-27			
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER			
VI-2-8-3-3-1	管の耐震性についての計算書（中央制御室待避所加圧空気供給系）	資料番号	VI-5-40	VI-5-54			
		コード名	MSC NASTRAN	NuPIAS			
VI-2-8-3-4-1	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所加圧空気供給系）	資料番号	VI-5-25	VI-5-27			
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER			
VI-2-9-2-1-2	サブプレッションチェンパの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-9-2-1-4	ドライウェルベント開口部の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-22	VI-5-40			
		コード名	ANSYS	MSC NASTRAN			
VI-2-9-2-1-5	ボックスサポートの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-30	VI-5-34	VI-5-63	VI-5-64	
		コード名	NUPP4	Soil Plus	fappase	KANSAS2	
VI-2-9-3-4	原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-13				
		コード名	ABAQUS				
VI-2-9-4-1	ダウンカマの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-22				
		コード名	ANSYS				
VI-2-9-4-2	ベント管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-22				
		コード名	ANSYS				
VI-2-9-4-3-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器スプレイ冷却系）	資料番号	VI-5-24				
		コード名	ISAP				
VI-2-9-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器下部注水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-9-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器代替スプレイ冷却系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-9-4-3-4-2	管の耐震性についての計算書（代替循環冷却系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-9-4-4-1-2	管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（9/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-52					
VI-2-9-4-4-1-3	非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	SAP-IV					
VI-2-9-4-4-1-5	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-4-4-2-1	管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26	VI-5-53			
		コード名	ISAP	SAP-V	KSAP			
VI-2-9-4-4-2-2	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-4-4-2-3	可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-53					
		コード名	KSAP					
VI-2-9-4-4-3-1	静的触媒式水素再結合装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-4-4-4-1	管の耐震性についての計算書（可搬型窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-9-4-5-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-9-4-6-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-9-4-6-1-3	遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-26					
		コード名	SAP-V					
VI-2-9-4-6-1-4	遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-26					
		コード名	SAP-V					
VI-2-10-1-2-1-1	非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-72					
		コード名	Fluent					
VI-2-10-1-2-1-6	非常用ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				
VI-2-10-1-2-2-1	高圧炉心スプレイスディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-72					
		コード名	Fluent					
VI-2-10-1-2-2-6	高圧炉心スプレイスディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				
VI-2-10-1-2-3-5	ガスタービン発電設備 管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27		
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER		
VI-2-10-1-2-4-2	緊急時対策所ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（10/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-4	VI-5-31	VI-5-37	VI-5-55	VI-5-56	
VI-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31	VI-5-37	VI-5-55	VI-5-56	
		コード名	FLIP	SHAKE	TDAPIII	microSHAKE	UC-win/Section	
VI-2-10-2-2-2	防潮堤（盛土堤防）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31				
		コード名	FLIP	SHAKE				
VI-2-10-2-3-1	杭基礎構造防潮壁鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57		
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPIII	RC 断面計算		
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57	VI-5-58	VI-5-59
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPIII	RC 断面計算	APOLLO Analyzer	APOLLO SuperDesigner Section
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁鋼製扉の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57	VI-5-60	
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPIII	RC 断面計算	FRAME マネージャ	
VI-2-10-2-3-4	防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-64					
		コード名	KANSAS2					
VI-2-10-2-4-1	取放水路流路縮小工（第1号機取水路）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-11	VI-5-33	VI-5-37			
		コード名	SuperFLUSH/2D	Ark Quake	TDAPIII			
VI-2-10-2-4-2	取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-11	VI-5-33	VI-5-37			
		コード名	SuperFLUSH/2D	Ark Quake	TDAPIII			
VI-2-10-2-6-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32	VI-5-37	VI-5-55			
		コード名	SLAP	TDAPIII	microSHAKE			
VI-2-10-2-6-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-32	VI-5-55			
		コード名	FLIP	SLAP	microSHAKE			
VI-2-10-2-8-3	浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-36	VI-5-37	VI-5-61			
		コード名	microSHAKE/3D	TDAPIII	FRAME（面内）			
VI-2-10-2-8-4	浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-62					
		コード名	Engineer's Studio					
VI-2-10-2-13-1	津波監視カメラの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-10-2-13-2	取水ピット水位計の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				
VI-2-10-4-3	取水口の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-76	VI-5-80	
		コード名	FLIP	Ark Quake	Soil Plus	COM3	Com3Eva1Sh	
VI-2-10-4-4-1	取水路（漸拡部）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34				
		コード名	Ark Quake	Soil Plus				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（11/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-4	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-76	VI-5-80	
VI-2-10-4-4-2	取水路（標準部）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-76	VI-5-80	
		コード名	FLIP	Ark Quake	Soil Plus	COM3	Com3Eva1Sh	
VI-2-11-2-1	海水ポンプ室門型クレーンの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-13					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-11-2-2	竜巻防護ネットの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-51					
		コード名	DYNA2E					
VI-2-11-2-3	タービン建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-29	VI-5-30	VI-5-31		
		コード名	ADMITHF	mflow	NUPP4	SHAKE		
VI-2-11-2-4	補助ボイラー建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-30					
		コード名	NUPP4					
VI-2-11-2-5	第1号機制御建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-30				
		コード名	ADMITHF	NUPP4				
VI-2-11-2-7	中央制御室天井照明の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40	VI-5-63	VI-5-64			
		コード名	MSC NASTRAN	fappase	KANSAS2			
VI-2-11-2-8	原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-13					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-11-2-9	燃料交換機の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-11-2-12	耐火隔壁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-11-2-13	制御棒貯蔵ラックの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-11-2-14	制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-11-2-15	第1号機排気筒の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-2	VI-5-7	VI-5-12	VI-5-31	VI-5-51	VI-5-70
		コード名	BG0195HDWI	SLIP02HDWI	VESL-DYN	SHAKE	DYNA2E	ADMIT
VI-2-11-2-16	前面護岸の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34				
		コード名	Ark Quake	Soil Plus				
VI-2-11-2-17	第1号機取水路の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31				
		コード名	FLIP	SHAKE				
VI-2-11-2-18	第3号機取水路の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-33				
		コード名	FLIP	Ark Quake				
VI-2-11-2-19	北側排水路の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31				
		コード名	FLIP	SHAKE				
VI-2-11-2-20	アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31				
		コード名	FLIP	SHAKE				
VI-2-11-2-21	CRD 自動交換機の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（12/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-13	VI-5-40	VI-5-57			
VI-2-12-1	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	資料番号	VI-5-13	VI-5-40	VI-5-57			
		コード名	ABAQUS	MSC NASTRAN	RC 断面計算			
VI-2-13-2	地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32	VI-5-37	VI-5-61		
		コード名	SHAKE	SLAP	TDAPⅢ	FRAME (面内)		
VI-2-13-3	地下水位低下設備接続樹の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-37	VI-5-57			
		コード名	SHAKE	TDAPⅢ	RC 断面計算			
VI-2-13-4	地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31	VI-5-32	VI-5-56		
		コード名	FLIP	SHAKE	SLAP	UC-win/Section		
VI-2-13-5	地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31	VI-5-32			
		コード名	FLIP	SHAKE	SLAP			
VI-2-13-7	地下水位低下設備配管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-65	VI-5-73				
		コード名	MSAP (配管)	CHERRY				
VI-2-13-9	地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-13-10	地下水位低下設備電源盤の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-別添1-2	火災感知器の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	SAP-IV					
VI-2-別添1-4	ガスボンベ設備の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-別添1-5	選択弁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-別添1-7	消火配管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-27	VI-5-40	VI-5-54	VI-5-66	VI-5-67
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER	MSC NASTRAN	NuPIAS	STRUCT	NAPF
VI-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	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27	VI-5-40	VI-5-52
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER	MSC NASTRAN	SAP-IV
		資料番号	VI-5-65	VI-5-67	VI-5-78			
		コード名	MSAP (配管)	NAPF	AutoPIPE			
VI-2-別添2-5	タービン補機冷却海水系隔離システムの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-別添2-7	タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-67	VI-5-78				
		コード名	NAPF	AutoPIPE				
VI-2-別添2-8	復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-78					
		コード名	AutoPIPE					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（13/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-11	VI-5-31	VI-5-36	VI-5-68		
VI-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	資料番号	VI-5-11	VI-5-31	VI-5-36	VI-5-68		
		コード名	SuperFLUSH/2D	SHAKE	microSHAKE/3D	FRS Calculation System		
VI-2-別添3-4	可搬型重大事故等対処設備のうちポンベ設備の耐震計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-40				
		コード名	NX NASTRAN	MSC NASTRAN				
VI-2-別添3-5	可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-3-2-2-1-2	燃料プール冷却浄化系ポンプの強度計算書	資料番号	VI-5-13					
		コード名	ABAQUS					
VI-3-3-2-2-1-4-2	管の応力計算書（燃料プール冷却浄化系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-2-2-2-2-2	管の応力計算書（燃料プール代替注水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-2-2-3-1-2	管の応力計算書（燃料プールのスプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-1-1-2	管の応力計算書（原子炉再循環系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-2-1-3-2	管の応力計算書（主蒸気系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-2-2-1-2	管の応力計算書（復水給水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-3-1-5-2	管の応力計算書（残留熱除去系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-3-1-5-3	ストレナ部ティーの強度計算書（残留熱除去系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-3-2-1-2	管の応力計算書（耐圧強化ベント系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-1-4-2	管の応力計算書（高圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-1-4-3	ストレナ部ティーの強度計算書（高圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-2-3-2	管の応力計算書（低圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-2-3-3	ストレナ部ティーの強度計算書（低圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-3-3-2	管の応力計算書（高圧代替注水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-5-2-2	管の応力計算書（低圧代替注水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（14/16）

目録番号	目録名称	適用コード名					
		資料番号	コード名				
VI-3-3-3-4-6-1-2	管の応力計算書（代替水源移送系）	資料番号	VI-5-24				
		コード名	ISAP				
VI-3-3-3-5-1-3-2	管の応力計算書（原子炉隔離時冷却系）	資料番号	VI-5-24				
		コード名	ISAP				
VI-3-3-3-5-2-3-2	管の応力計算書（補給水系）	資料番号	VI-5-24				
		コード名	ISAP				
VI-3-3-3-6-1-6-2	管の応力計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-65			
		コード名	ISAP	MSAP (配管)			
VI-3-3-3-6-2-5-2	管の応力計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-65			
		コード名	ISAP	MSAP (配管)			
VI-3-3-3-6-3-4-2	管の応力計算書（原子炉補機代替冷却水系）	資料番号	VI-5-24				
		コード名	ISAP				
VI-3-3-3-7-1-1-2	管の応力計算書（原子炉冷却材浄化系）	資料番号	VI-5-24				
		コード名	ISAP				
VI-3-3-4-1-2-1-4-2	管の応力計算書（制御棒駆動水圧系）	資料番号	VI-5-25	VI-5-27			
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER			
VI-3-3-4-2-1-3-2	管の応力計算書（ほう酸水注入系）	資料番号	VI-5-24				
		コード名	ISAP				
VI-3-3-4-3-1-2-2	管の応力計算書（高圧窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-27			
		コード名	ISAP	SOLVER			
VI-3-3-4-3-2-1-2	管の応力計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-27			
		コード名	ISAP	SOLVER			
VI-3-3-5-1-2-1-2	管の応力計算書（緊急時対策所換気空調系）	資料番号	VI-5-27				
		コード名	SOLVER				
VI-3-3-5-1-3-2-2	管の応力計算書（中央制御室待避所加圧空気供給系）	資料番号	VI-5-54				
		コード名	NuPIAS				
VI-3-3-5-1-4-2-2	管の応力計算書（緊急時対策所加圧空気供給系）	資料番号	VI-5-27				
		コード名	SOLVER				
VI-3-3-6-1-1-4	ドライウエルベント開口部の強度計算書	資料番号	VI-5-22	VI-5-40			
		コード名	ANSYS	MSC NASTRAN			
VI-3-3-6-1-1-7	サプレッションチェンバの強度計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-3-3-6-2-2	ダウンカマの強度計算書	資料番号	VI-5-22				
		コード名	ANSYS				
VI-3-3-6-2-3	ベントヘッダの強度計算書	資料番号	VI-5-22				
		コード名	ANSYS				
VI-3-3-6-2-5	ベント管の強度計算書	資料番号	VI-5-22				
		コード名	ANSYS				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（15/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	コード名					
VI-3-3-6-2-7-2-1-2	管の応力計算書（原子炉格納容器下部注水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-7-3-1-2	管の応力計算書（原子炉格納容器代替スプレイ冷却系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-7-4-2-2	管の応力計算書（代替循環冷却系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-8-1-2-2	管の応力計算書（非常用ガス処理系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-8-3-1-2	管の応力計算書（可搬型窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-9-1-2-2	管の応力計算書（原子炉格納容器調気系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-10-1-3-2	管の応力計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-別添1-1	竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針	資料番号	VI-5-1					
		コード名	TONBOS					
VI-3-別添1-1-1	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書	資料番号	VI-5-13	VI-5-69				
		コード名	ABAQUS	LS-DYNA				
VI-3-別添1-1-5	復水貯蔵タンクの強度計算書	資料番号	VI-5-69					
		コード名	LS-DYNA					
VI-3-別添1-1-7	排気筒の強度計算書	資料番号	VI-5-51	VI-5-69				
		コード名	DYNA2E	LS-DYNA				
VI-3-別添1-2	防護対策施設の強度計算の方針	資料番号	VI-5-1					
		コード名	TONBOS					
VI-3-別添1-2-1-1	竜巻防護ネットの強度計算書	資料番号	VI-5-69					
		コード名	LS-DYNA					
VI-3-別添1-2-1-2	竜巻防護鋼板の強度計算書	資料番号	VI-5-69					
		コード名	LS-DYNA					
VI-3-別添2-1-3	復水貯蔵タンクの強度計算書	資料番号	VI-5-13					
		コード名	ABAQUS					
VI-3-別添3-2-1-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31	VI-5-37	VI-5-56		
		コード名	FLIP	SHAKE	TDAPIII	UC-win/Section		
VI-3-別添3-2-1-2	防潮堤（盛土堤防）の強度計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31				
		コード名	FLIP	SHAKE				
VI-3-別添3-2-2-1	杭基礎構造防潮壁鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57		
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPIII	RC 断面計算		
VI-3-別添3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57	VI-5-58	VI-5-59
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPIII	RC 断面計算	APOLLO Analyzer	APOLLO SuperDesigner Section

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（16/16）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57	VI-5-60	
VI-3-別添3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁鋼製扉の強度計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57	VI-5-60	
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPIII	RC 断面計算	FRAME マネージャ	
VI-3-別添3-2-2-4	防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）の強度計算書	資料番号	VI-5-64					
		コード名	KANSAS2					
VI-3-別添3-2-3-1	取放水路流路縮小工（第1号機取水路）の強度計算書	資料番号	VI-5-33					
		コード名	Ark Quake					
VI-3-別添3-2-3-2	取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度計算書	資料番号	VI-5-33					
		コード名	Ark Quake					
VI-3-別添3-2-4	貯留堰の強度計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-57				
		コード名	Ark Quake	RC 断面計算				
VI-3-別添3-2-5-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度計算書	資料番号	VI-5-32	VI-5-37	VI-5-55			
		コード名	SLAP	TDAPIII	microSHAKE			
VI-3-別添3-2-5-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-32	VI-5-55			
		コード名	FLIP	SLAP	microSHAKE			
VI-3-別添3-2-7-2	浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ビット）の強度計算書	資料番号	VI-5-62					
		コード名	Engineer's Studio					
VI-3-別添3-2-11-1	取水ビット水位計の強度計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-3-別添6-7	制御棒案内管の強度計算書	資料番号	VI-5-50					
		コード名	A-SAFIA					

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0008_改0
提出年月日	2021年2月2日

VI-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要

・TONBOS

2021年2月

東北電力株式会社

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）TONBOS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
VI-1-1-2-3-2	竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定	Ver. 3
VI-3-別添 1-1	竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針	Ver. 3
VI-3-別添 1-2	防護対策施設の強度計算の方針	Ver. 3

2. 解析コードの概要

項目	コード名 TONBOS
使用目的	竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価（フジタモデル）
開発機関	一般財団法人 電力中央研究所
開発時期	2014 年
使用したバージョン	Ver. 3
コードの概要	TONBOS（以下「本解析コード」という。）は、一般財団法人 電力中央研究所にて開発・保守されているプログラムである。空気中の物体が受ける抗力、揚力による運動を計算することで、竜巻による風速場の中での飛来物の飛散軌跡を評価することができる解析コードであり、物体の飛散距離等の算出が可能である。仮定する風速場は、地上付近で、竜巻の中心に向かう流れを考慮した 3 次元の風速成分を持つフジタモデル D BT-77 (DBT: Design Basis Tornado) とする。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車の飛散解析において、フジタスケールの各スケールに対応する被災状況とおおむね一致した結果が得られた。 ・パイプの飛散解析において、Grand Gulf 原子力発電所への竜巻襲来事例とおおむね一致した結果が得られた。 ・自動車及びトラックの飛散解析において、佐呂間竜巻での車両飛散事例とおおむね一致した結果が得られた。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードを竜巻により発生する飛来物の飛散距離等の評価に使用することは次のとおり妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、竜巻により発生する飛来物の飛散距離等の評価を目的に開発されたコードであり、使用目的が合致している。 ・評価は妥当性を確認している範囲内で行うようにしている。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0009_改0
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-2 計算機プログラム（解析コード）の概要

・BG0195HDW1

2021年9月

東北電力株式会社

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. 解析手法.....	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.....	7
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	8
3.5.1 検証 (Verification)	8
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	10
3.5.3 評価結果.....	12

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）BG0195HDW1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
VI-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. 5. 0. 6
VI-2-11-2-15	第 1 号機排気筒の耐震性についての計算書	ver. 5. 0. 6

2. 解析コードの概要

項目	コード名 BG0195HDW1
使用目的	2次元有限要素法による常時応力解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2006年
使用したバージョン	ver. 5.0.6
コードの概要	<p>BG0195HDW1（以下「本解析コード」という。）は、2次元有限要素法解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 2次元有限要素法による解析プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・半無限弾性地盤におけるブシネスクの理論解と、本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力産業界において実績のあるTDAPⅢを用いた自重解析結果と、本解析コードによる自重解析結果を比較し、解がおおむね一致することを確認している。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は、静的解析（常時応力算出用）解析コード BG0195HDW1 の概要である。

本解析コードは、鹿島建設株式会社によって開発された 2 次元有限要素法解析を行う解析コードである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴として、以下の①～③を挙げることができる。

① 2 次元有限要素法による解析プログラムである。

② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。

③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。

3.3 解析手法

地盤の FEM 解析では、土は連続体として仮定している。通常、全応力解析手法を用いて、地盤の変形、破壊をシミュレートする。ここで、静的全応力解析の理論基礎について説明する。

(1) 釣合い方程式

静的解析では、慣性力は無視できるので x-y 平面上の微小領域に F_x, F_y の荷重が作用する場合の力の釣合い方程式は (1) 式で表せる。

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + F_x = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + F_y = 0 \end{cases} \quad (1)$$

(2) 変位とひずみの関係

要素内部の変位 $\{u\}$ は、その要素を構成する節点の変位 $\{\delta\}$ を用いて (2) 式のように関係づけられる。

$$\{u\} = [N]\{\delta\} \quad (2)$$

ここに $[N]$ は形状関数と呼ばれる。これらを用いて、ひずみ $\{\epsilon\}$ は、(3) 式のように表される。

$$\{\epsilon\} = [\bar{D}]\{u\} = [\bar{D}][N]\{\delta\} = [B]\{\delta\} \quad (3)$$

ここに、 $[\bar{D}]$ は、ひずみと要素内変位を関係づけるマトリックス、 $[B]$ は、要素を構成する節点の変位とひずみを関係づけるマトリックスを表す。

(3) 応力とひずみ関係

応力-ひずみ関係は次式のようになる。

$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon\} \quad (4)$$

ここに、 $\{\sigma\}$ は応力、 $\{\epsilon\}$ はひずみ、 $[D]$ は応力-ひずみマトリックスを表す。

(4) 有限要素の定式化

有限要素のひずみエネルギー及び外力によるポテンシャルエネルギーの和，すなわち全ポテンシャルエネルギーを求め，ポテンシャルエネルギー最小の原理を適用して有限要素の定式化を行う。その結果，式(5)に示すような要素剛性方程式が導かれる。

$$[k]\{\delta\} = \{f_b\} + \{f_q\} + \{f_p\} \quad (5)$$

ここに， $[k]$ は要素剛性マトリックス， $\{\delta\}$ は節点変位， $\{f_b\}$ は物体力， $\{f_q\}$ は要素表面力， $\{f_p\}$ は節点集中荷重を表す。

全要素について，要素剛性方程式を組み合わせて，連続体を近似する連立方程式を得ることができる。最終的に，この連立方程式を解くことにより，変位を得られる。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

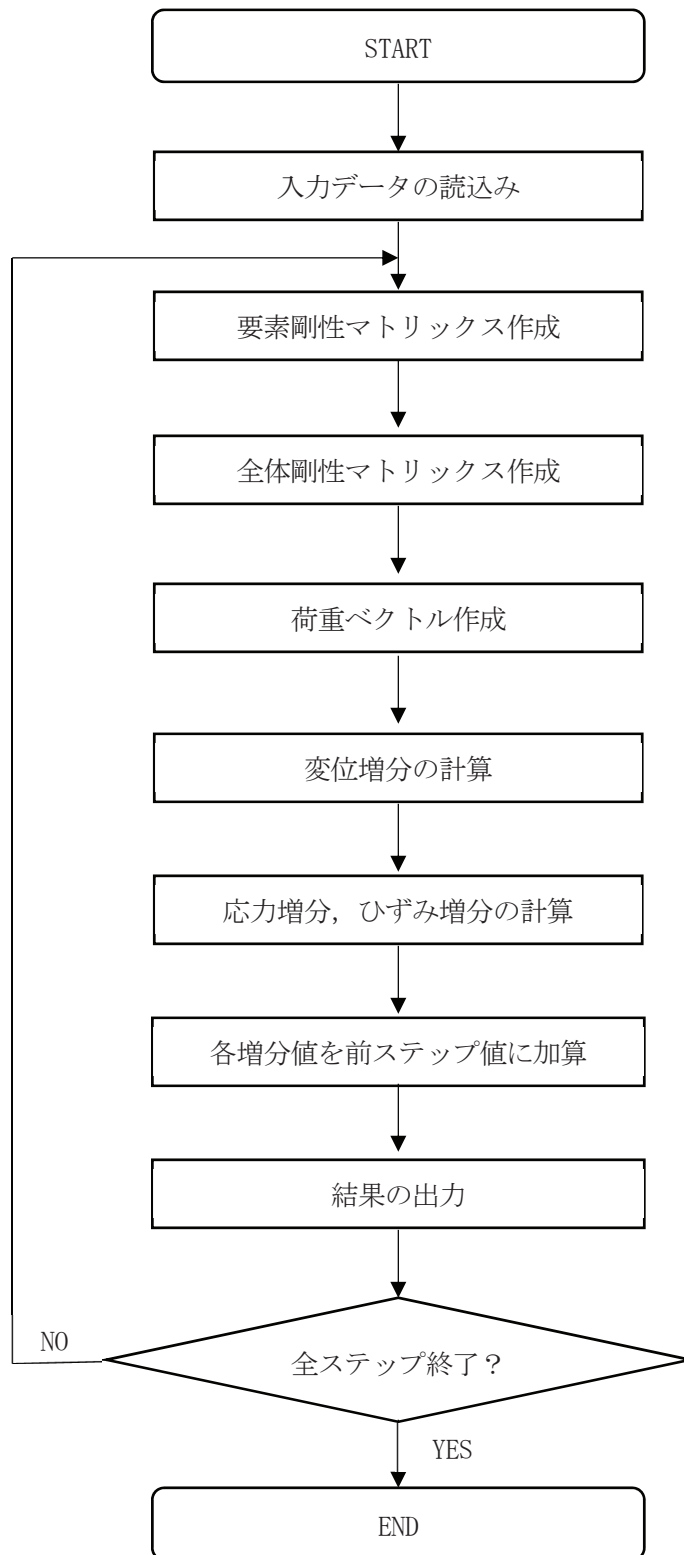


図3-1 解析フローチャート

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

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証として半無限弾性地盤におけるブシネスク (Boussinesq) の理論解と本解析コードによる解析解との比較を、妥当性確認として類似の汎用構造解析プログラム TDAPⅢによる解析結果と、本解析コードによる解析結果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)

平面ひずみ要素の鉛直応力を半無限弾性地盤におけるブシネスク (Boussinesq) の理論解と比較した。図 3-2 に解析モデル及び境界条件を示す。

比較結果より、解析解が理論解とおおむね一致することを確認した。

(1) 解析モデル

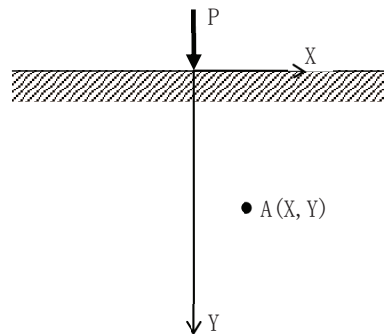


図3-2 解析対象とした地盤モデル

(2) 解析条件

モデルサイズ	: X400m×Y200m
物性値	: $E=1.0 \times 10^6 \text{kN/m}^2$, $\nu=0.49$
境界条件	: 底面固定, 側方鉛直ローラー
荷重条件	: $P=100\text{kN}$ ($X=0, Y=0$)

(3) 鉛直応力

等方均質な半無限弾性地盤の表面に鉛直方向の集中荷重 P が载荷されたときに弾性体内部で発生する応力は 1885 年にブシネスク (Boussinesq) によって求められている。

線荷重が载荷された場合の地盤内応力については、平面変形条件として取り扱うことができ、奥行方向に集中荷重が無限に並んでいると考える。そのとき図 3-2 における点 A の鉛直応力 σ_Y の理論解は以下の式で求められる。

$$\sigma_Y = \frac{2PY^3}{\pi(X^2+Y^2)^2}$$

今回は自重成分を除き、外力による純粋な応力伝播のみを予測する。図 3-2 の荷重载荷位置における鉛直応力と深度の関係の結果を図 3-3 に示す。

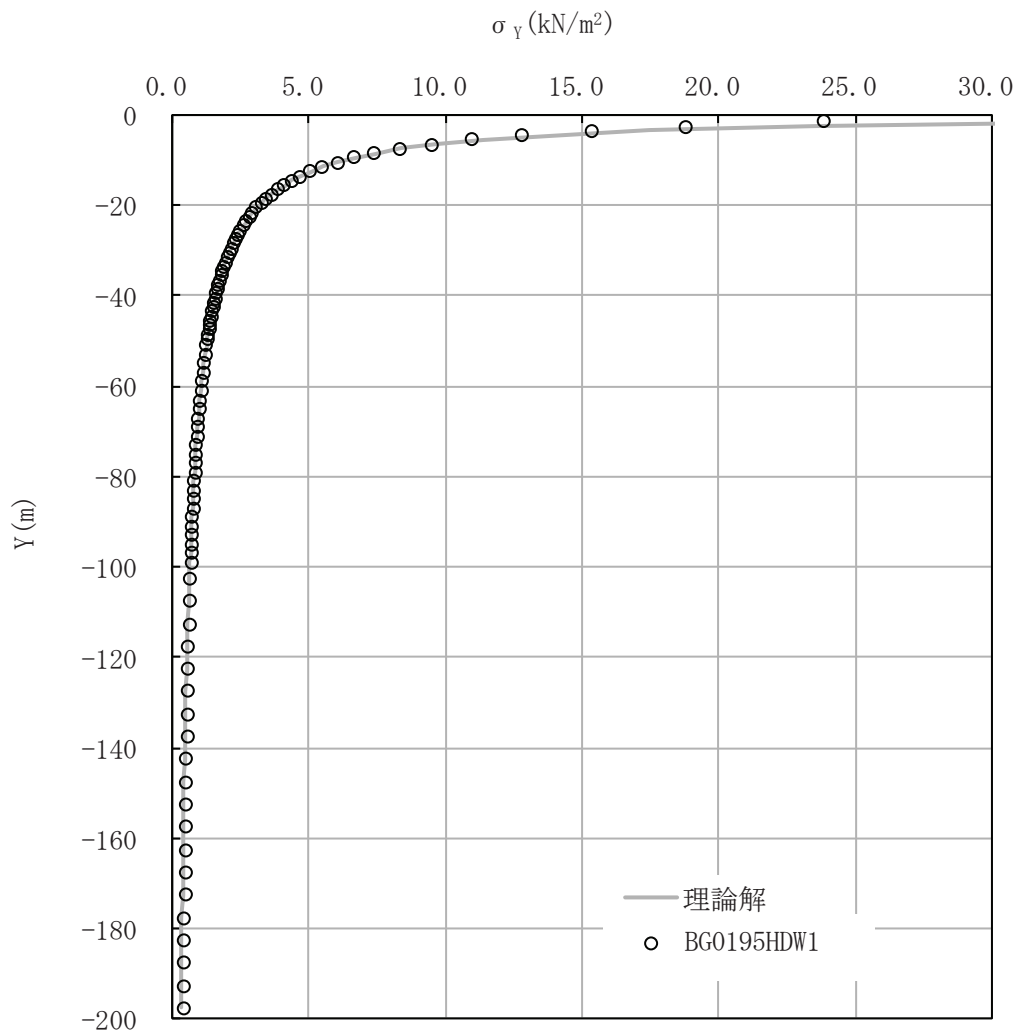


図3-3 検証結果

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

土木・建築向け汎用構造解析プログラム TDAPⅢとの自重解析結果による比較を実施した。

(1) 検証モデル

検討モデル及び境界条件を図3-4に示す。

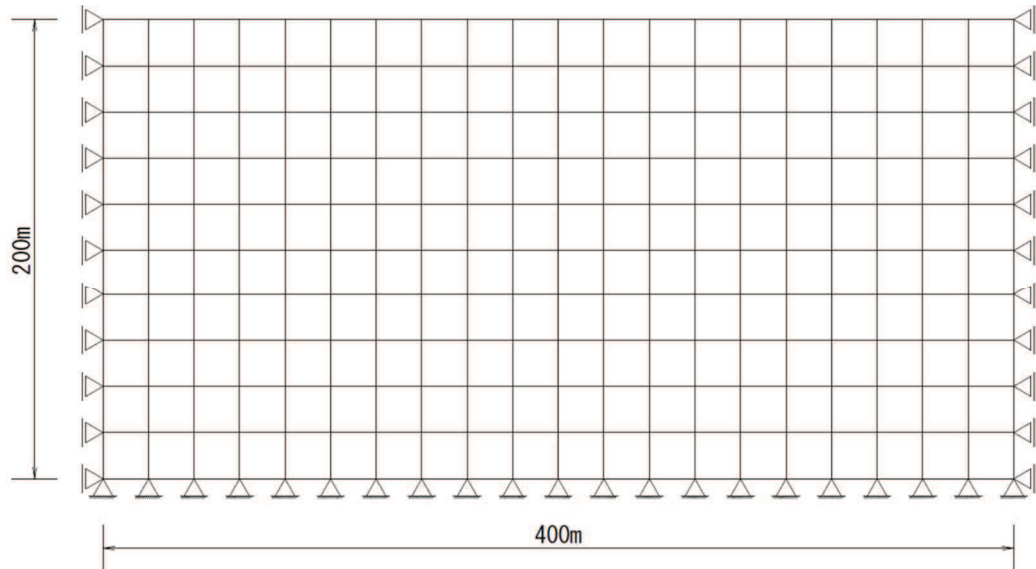


図3-4 解析モデル

(2) 解析条件

モデルサイズ : X400m×Y200m

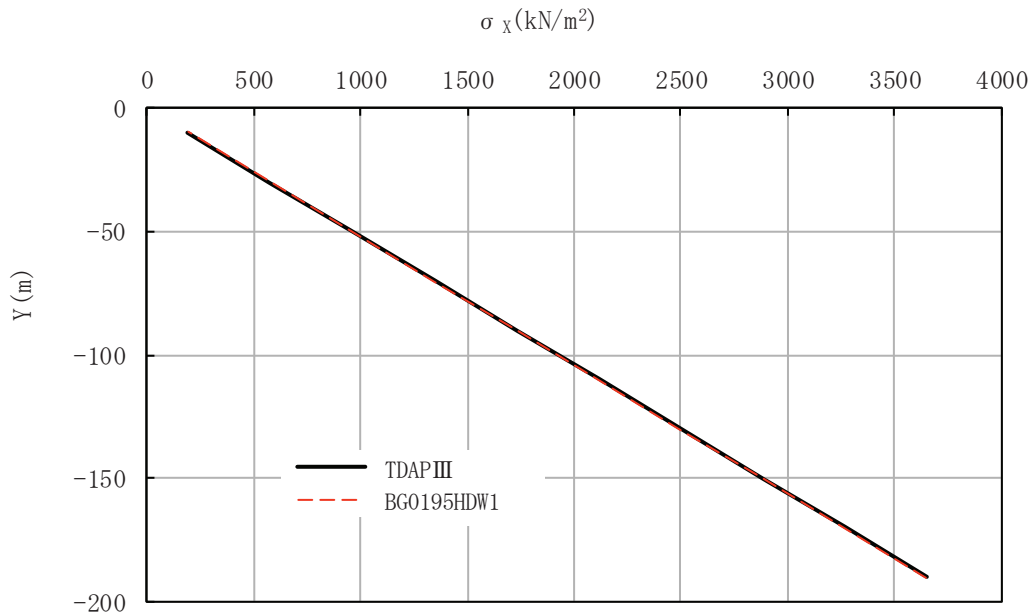
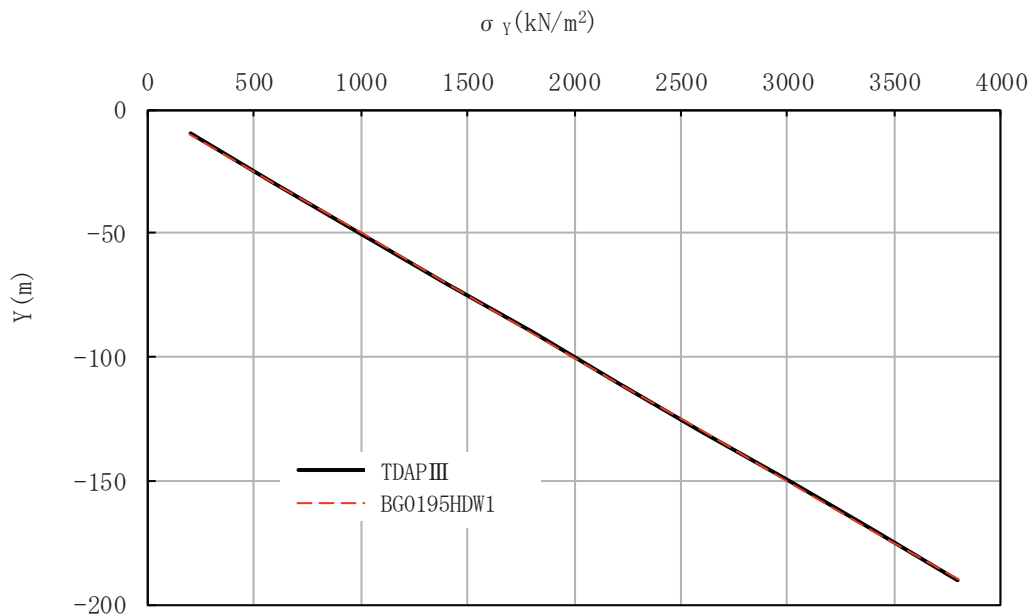
物性値 : $E=1.0 \times 10^6 \text{kN/m}^2$, $\nu=0.49$, $\gamma=20 \text{kN/m}^3$

境界条件 : 底面固定, 側方鉛直ローラー

荷重条件 : 自重のみ

(3) 解析結果

解析結果の応力分布図を図 3-5, 図 3-6 に示す。各図より結果はおおむね一致していることが確認できる。

図3-5 水平応力 σ_x 図3-6 鉛直応力 σ_y

3.5.3 評価結果

本解析コードの解析解とブシネスクの理論解との比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致していることを確認した。また類似の汎用構造解析プログラム TDAPⅢの解析結果と本解析コードによる解析結果の比較を行い、解がおおむね一致していることを確認した。

以上のことから、本解析コードを本解析に使用することは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0010_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-3 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ COSTANA

2021年2月

東北電力株式会社

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）COSTANA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
VI-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. 18. 1F

2. 解析コードの概要

項目	コード名 COSTANA
使用目的	分割法によるすべり計算（斜面安定解析）
開発機関	富士通エフ・アイ・ピー株式会社
開発時期	1990 年代後半
使用したバージョン	ver. 18. 1F
コードの概要	<p>COSTANA（以下「本解析コード」という。）は、盛土及び切土斜面の安定性解析用の汎用市販コードである。</p> <p>本解析コードは、斜面の安定性を円弧又は複合すべりにより評価するための解析コードである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・円弧すべりの抵抗力及び滑動力の合計値、並びにそれを基に算定した最小すべり安全率について、文献による理論解と本解析コードによる解析解との比較を行い、解析解が理論解におおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、国内の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。 ・九州電力株式会社川内原子力発電所第 1 号機の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に係る斜面の安定性評価において、分割法による円弧すべりの最小安全率の算定に本解析コード（ver. 17. 1G）が使用された実績がある。 ・バージョン更新により新しい構成則の追加、出力機能の追加が図られたが、本工事計画において使用するバージョン（ver. 18. 1F）と他プラントの既工事計画において使用されたバージョン（ver. 17. 1G）で使用している機能は同じである。 ・本工事計画における斜面のすべりに対する安定性評価に対し、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。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0011_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要

・FLIP

2021年9月

東北電力株式会社

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）FLIPについて説明するものである。

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

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-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,
VI-2-2-9	第3号機海水ポンプ室の地震応答計算書	ver. 7.4.1
VI-2-2-17	ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震応答計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-2-27	排気筒連絡ダクトの地震応答計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-10-2-2-2	防潮堤（盛土堤防）の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-10-2-6-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-10-4-3	取水口の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-10-4-4-2	取水路（標準部）の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-11-2-17	第1号機取水路の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-11-2-18	第3号機取水路の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-11-2-19	北側排水路の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-11-2-20	アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-13-4	地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-13-5	地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書	ver. 7.3.0_2
VI-3-別添 3-2-1-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書	ver. 7.3.0_2
VI-3-別添 3-2-1-2	防潮堤（盛土堤防）の強度計算書	ver. 7.3.0_2
VI-3-別添 3-2-5-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）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
項目	FLIP
使用目的	1 次元有限要素法による地震応答解析（有効応力法） 2 次元有限要素法による地震応答解析（有効応力法）
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, ver. 7.4.1
コードの概要	<p>FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program) (以下「本解析コード」という。) は、1988 年に運輸省港湾技術研究所 (現：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>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①有限要素法に基づくプログラムである。 ②平面ひずみ状態を解析対象とする。 ③地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析を行い、部材の断面力や変形量を計算する。 ④土の応力-ひずみモデルとしてマルチスプリング・モデルを採用している。 ⑤有効応力の変化は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧算定モデルとして井合モデルを用いている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が提示解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは港湾施設の設計に用いられる「港湾施設の技術上の基準・同解説 (2007) (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、本工事計画の解析に使用することは妥当である。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、防潮堤，防潮扉，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，取水構造物等の地震応答解析に本解析コード (Ver. 7. 3. 0_2) が使用された実績がある。 • 本工事計画において使用するバージョンのうち ver. 7. 4. 1 は，他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 • 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。
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0012_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ LIQUEUR

2021年2月

東北電力株式会社

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）LIQUEUR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
VI-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. 15. 1H, Ver. 16. 1B

2. 解析コードの概要

項目	コード名 LIQUEUR
使用目的	1次元有限要素法による地震応答解析
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. 15. 1H, Ver. 16. 1B
コードの概要	<p>LIQUEUR（以下「本解析コード」という。）は、重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>①1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化法により考慮できる。</p> <p>③鉛直動は、S波速度 V_s をP波速度 V_p として定義することで対応が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードのマニュアルに記載された理論解と本解析コードによる解析解との比較を行い、解析解が理論解に一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力産業界において、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。 ・関西電力株式会社高浜発電所第4号機の放水口側防潮堤、防潮扉、屋外排水路逆流防止設備並びに1号及び2号機放水ピット止水板の地震応答解析に本解析コード（Ver. 15. 1F）が使用された実績がある。 ・バージョン更新により対応する判定基準の追加が図られたが、本工事計画において使用するバージョン（Ver. 15. 1H, 16. 1B）と他プラントの既工事計画において使用されたバージョン（Ver. 15. 1F）で使用している機能は同じである。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 入力地震動策定に対して、原子力産業界において実績があるmicroSHAKEを用いた1次元地震応答解析を行った解析解と、本解析コードによる解析解を比較したコードベンチマーキングを行った結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。• 本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	---

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0013_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-6 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ SAC2D

2021年2月

東北電力株式会社

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. 解析手法	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	7
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	8
3.5.1 検証 (Verification)	8
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	10
3.5.3 評価結果	12

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）SAC2D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
VI-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. 2.10

2. 解析コードの概要

項目	コード名 SAC2D
使用目的	2次元有限要素法による常時応力解析
開発機関	株式会社ユニック
開発時期	1993年
使用したバージョン	Ver. 2.10
コードの概要	<p>SAC2D (以下「本解析コード」という。) は、2次元有限要素法解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 2次元有限要素法による解析プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・半無限弾性地盤におけるブシネスクの理論解と、本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力産業界において実績のある TDAPⅢを用いた自重解析結果と、本解析コードによる自重解析結果を比較し、解がおおむね一致することを確認している。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は、静的解析（常時応力算出用）解析コード SAC2D の概要である。

本解析コードは、株式会社ユニックによって開発された 2次元有限要素法解析を行う解析コードである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴として、以下の①～③を挙げることができる。

①2次元有限要素法による解析プログラムである。

②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。

③地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。

3.3 解析手法

地盤のFEM解析では、土は連続体として仮定している。通常、全応力解析手法を用いて、地盤の変形、破壊をシミュレートする。ここで、静的全応力解析の理論基礎について説明する。

(1) 釣合い方程式

静的解析では、慣性力は無視できるので x - y 平面上の微小領域に F_x , F_y の荷重が作用する場合の力の釣合い方程式は(1)式で表せる。

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + F_x = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + F_y = 0 \end{cases} \quad (1)$$

(2) 変位とひずみの関係

要素内部の変位 $\{u\}$ は、その要素を構成する節点の変位 $\{\delta\}$ を用いて(2)式のように関係づけられる。

$$\{u\} = [N]\{\delta\} \quad (2)$$

ここに $[N]$ は形状関数と呼ばれる。これらを用いて、ひずみ $\{\varepsilon\}$ は、(3)式のように表される。

$$\{\varepsilon\} = [\bar{D}]\{u\} = [\bar{D}][N]\{\delta\} = [B]\{\delta\} \quad (3)$$

ここに、 $[\bar{D}]$ は、ひずみと要素内変位を関係づけるマトリックス、 $[B]$ は、要素を構成する節点の変位とひずみを関係づけるマトリックスを表す。

(3) 応力とひずみ関係

応力-ひずみ関係は次式のようになる。

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (4)$$

ここに、 $\{\sigma\}$ は応力、 $\{\varepsilon\}$ はひずみ、 $[D]$ は応力-ひずみマトリックスを表す。

(4) 有限要素の定式化

有限要素のひずみエネルギー及び外力によるポテンシャルエネルギーの和，すなわち全ポテンシャルエネルギーを求め，ポテンシャルエネルギー最小の原理を適用して有限要素の定式化を行う。その結果，式(5)に示すような要素剛性方程式が導かれる。

$$[k]\{\delta\} = \{f_b\} + \{f_q\} + \{f_p\} \quad (5)$$

ここに， $[k]$ は要素剛性マトリックス， $\{\delta\}$ は節点変位， $\{f_b\}$ は物体力， $\{f_q\}$ は要素表面力， $\{f_p\}$ は節点集中荷重を表す。

全要素について，要素剛性方程式を組み合わせて，連続体を近似する連立方程式を得ることができる。最終的に，この連立方程式を解くことにより，変位を得られる。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

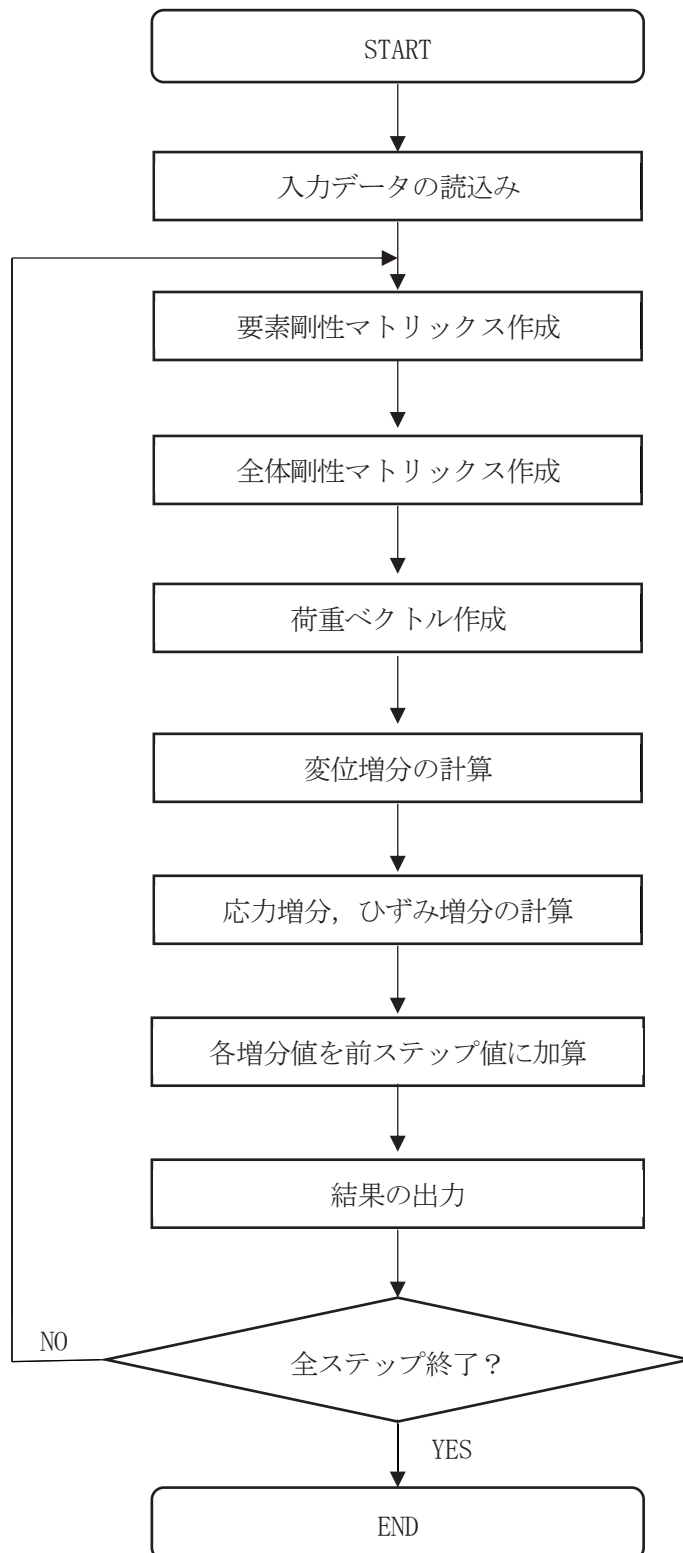


図3-1 解析フローチャート

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

本解析コードを本解析に用いるにあたり，検証として半無限弾性地盤におけるブシネスク (Boussinesq) の理論解と本解析コードによる解析解との比較を，妥当性確認として類似の汎用構造解析プログラム TDAPⅢによる解析結果と，本解析コードによる解析結果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)

平面ひずみ要素の鉛直応力を半無限弾性地盤におけるブシネスク (Boussinesq) の理論解と比較した。図 3-2 に解析モデル及び境界条件を示す。

比較結果より，解析解が理論解とおおむね一致することを確認した。

(1) 解析モデル

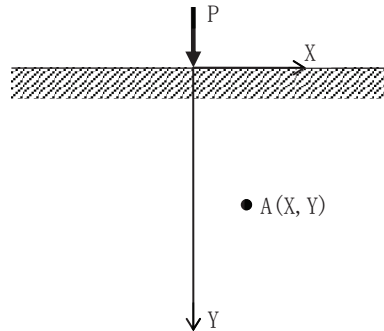


図3-2 解析対象とした地盤モデル

(2) 解析条件

- モデルサイズ : X400m×Y200m
- 物性値 : $E=1.0 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0.49$
- 境界条件 : 底面固定，側方鉛直ローラー
- 荷重条件 : $P=100 \text{ kN}$ ($X=0, Y=0$)

(3) 鉛直応力

等方均質な半無限弾性地盤の表面に鉛直方向の集中荷重 P が載荷されたときに弾性体内部で発生する応力は 1885 年にブシネスク (Boussinesq) によって求められている。

線荷重が載荷された場合の地盤内応力については、平面変形条件として取り扱うことができ、奥行方向に集中荷重が無限に並んでいると考える。そのとき図 3-2 における点 A の鉛直応力 σ_Y の理論解は以下の式で求められる。

$$\sigma_Y = \frac{2PY^3}{\pi(X^2+Y^2)^2}$$

今回は自重成分を除き、外力による純粋な応力伝播のみを予測する。図 3-2 の荷重載荷位置における鉛直応力と深度の関係の結果を図 3-3 に示す。

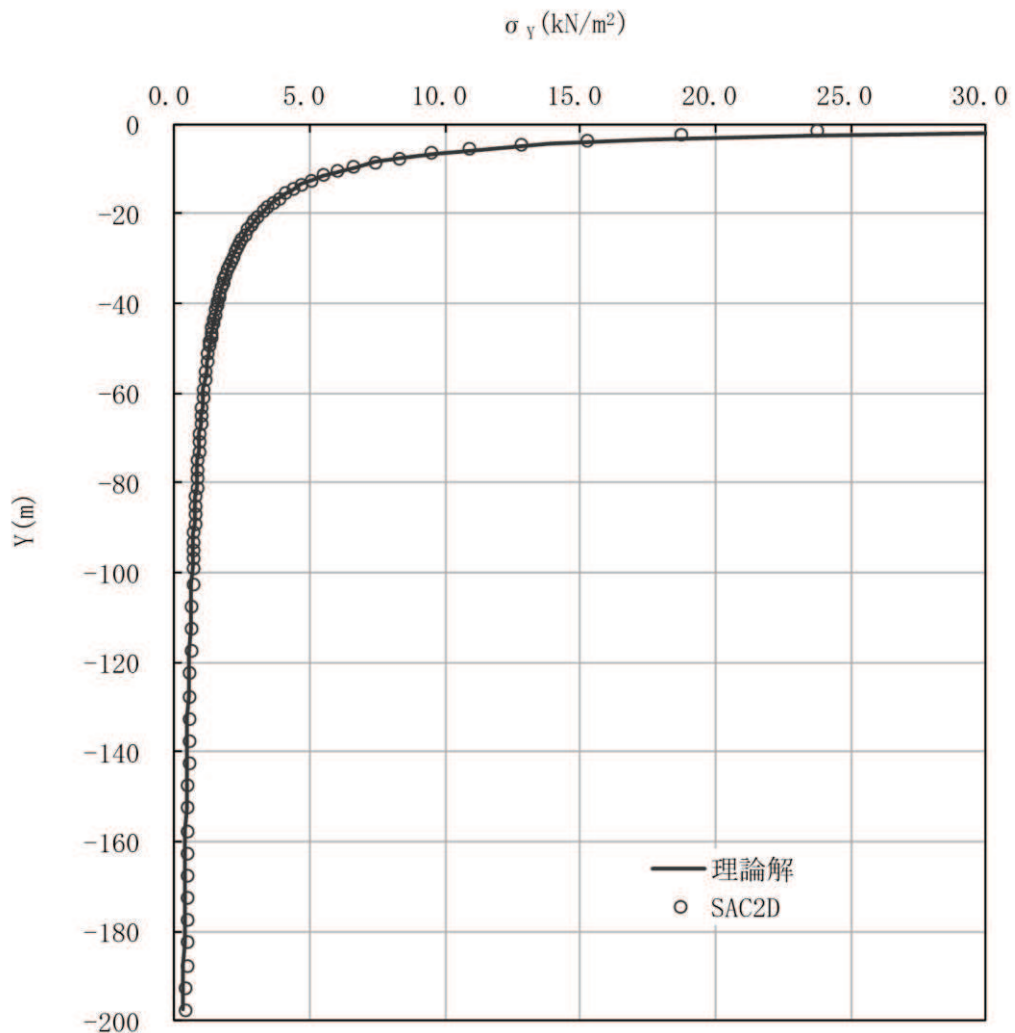


図3-3 検証結果

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

土木・建築向け汎用構造解析プログラム TDAPⅢとの自重解析結果による比較を実施した。

(1) 検証モデル

検討モデル及び境界条件を図 3-4 に示す。

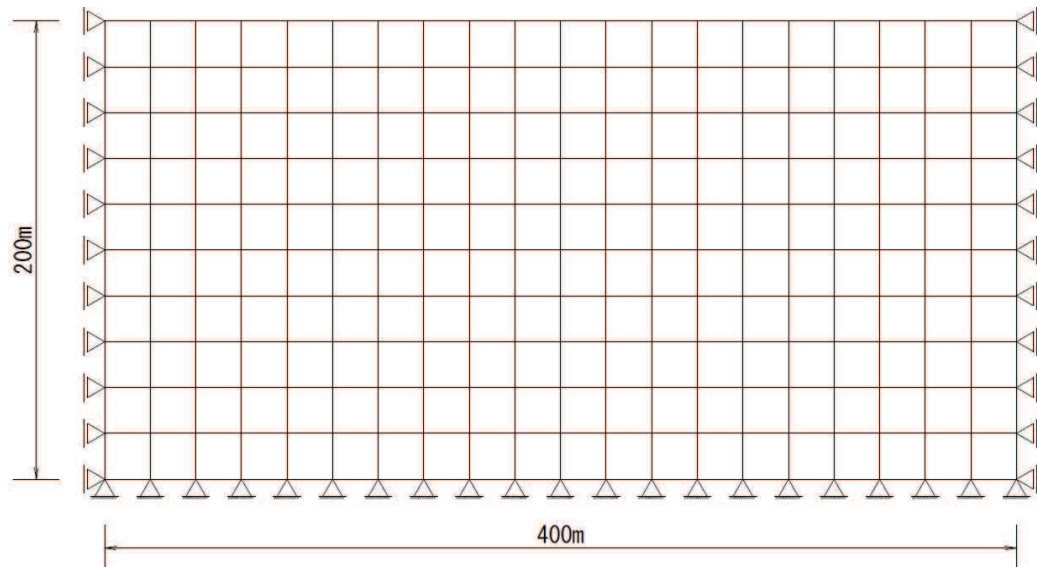


図3-4 解析モデル

(2) 解析条件

モデルサイズ : X400m×Y200m

物性値 : $E=1.0 \times 10^6 \text{kN/m}^2$, $\nu=0.49$, $\gamma=20 \text{kN/m}^3$

境界条件 : 底面固定, 側方鉛直ローラー

荷重条件 : 自重のみ

(3) 解析結果

解析結果の応力分布図を図 3-5, 図 3-6 に示す。各図より結果はおおむね一致していることが確認できる。

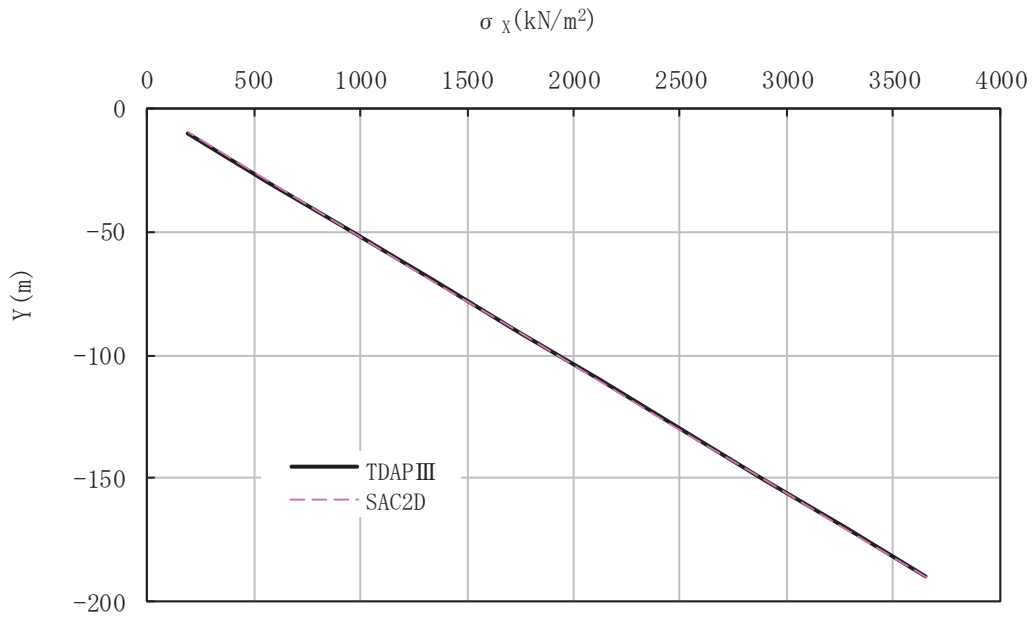


図3-5 水平応力 σ_x

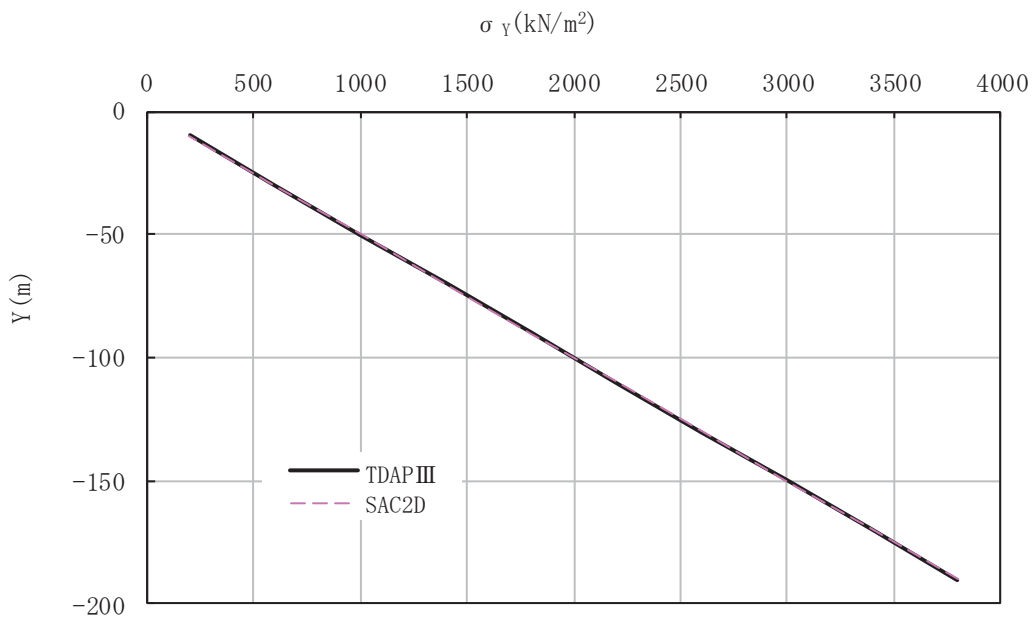


図3-6 鉛直応力 σ_y

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0014_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-7 計算機プログラム（解析コード）の概要

・SLIP02HDW1

2021年9月

東北電力株式会社

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. 解析手法.....	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.....	6
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	7
3.5.1 検証 (Verification)	7
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	13
3.5.3 評価結果.....	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）SLIP02HDW1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
VI-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. 4.07
VI-2-11-2-15	第1号機排気筒の耐震性についての計算書	ver. 4.07

2. 解析コードの概要

項目	コード名 SLIP02HDW1
使用目的	2次元有限要素法によるすべり計算
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2006年
使用したバージョン	ver. 4.07
コードの概要	<p>SLIP02HDW1（以下「本解析コード」という。）は、すべり安全率算定を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>①2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。</p> <p>②要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</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"> ・すべり線が通過する要素ごとの滑動力と抵抗力の解析解が、理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</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"> ・検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画の解析に適用することは妥当である。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は、すべり安全率算定用解析コード SLIP02HDW1 の概要である。

本解析コードは、鹿島建設株式会社によって開発されたすべり安全率算定を行うプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴として、以下の①、②を挙げることができる。

- ① 2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。
- ② 要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。

3.3 解析手法

静的解析から得られる常時応力と動的解析から得られる地震時増分応力を足し合わせて、時刻歴のすべり安全率（想定すべり線に沿った要素を対象とした各時刻におけるせん断力とせん断抵抗力の比）を式(1)のように計算する。

$$\text{すべり安全率 } F_s = \frac{\text{すべり線が通る要素の抵抗力の総和の瞬間値}}{\text{すべり線が通る要素の滑動力の総和の瞬間値}} = \frac{\sum R_i \cdot L_i}{\sum \tau_i \cdot L_i} \quad (1)$$

なお、すべり安全率を算定する際、破壊要素の抵抗強度に関しては、各時間断面の破壊形態により以下に示した強度低下を考慮する。

(1) せん断破壊

せん断破壊した要素の強度定数には、残留強度を用いる。

(2) 引張破壊あるいは複合破壊

引張応力の発生により引張破壊あるいは複合破壊した要素の強度定数は、その要素を通るすべり面の直応力 σ_n により以下に示した強度定数を用いる。

- ・直応力 σ_n が圧縮の場合、強度定数に残留強度を用いる。
- ・直応力 σ_n が引張の場合、強度定数を 0 とする。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示し、破壊判定のフローチャートを図 3-2 に示す。

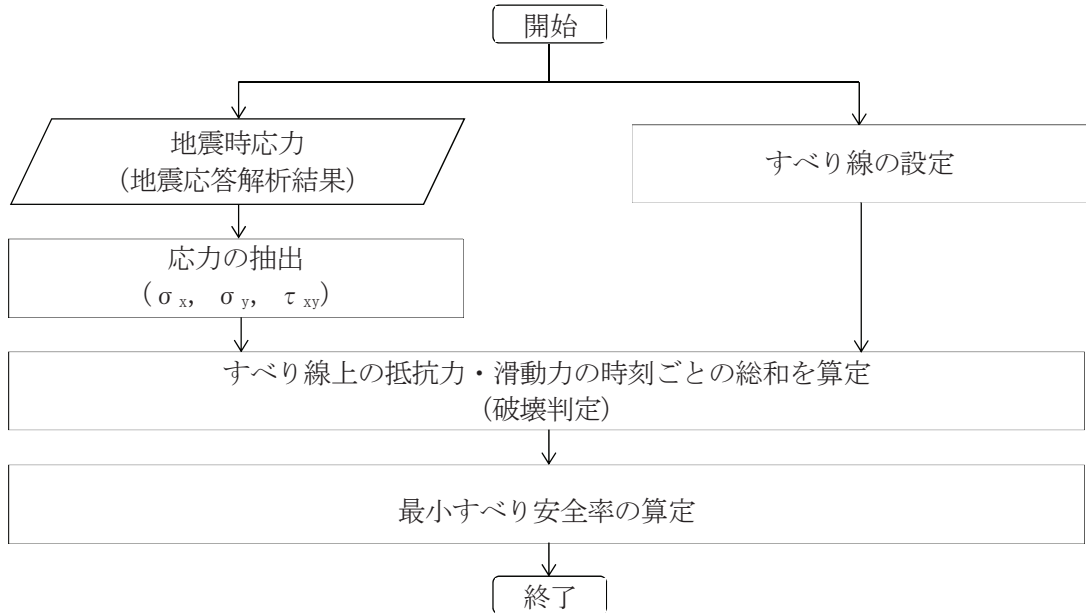


図3-1 解析のフローチャート

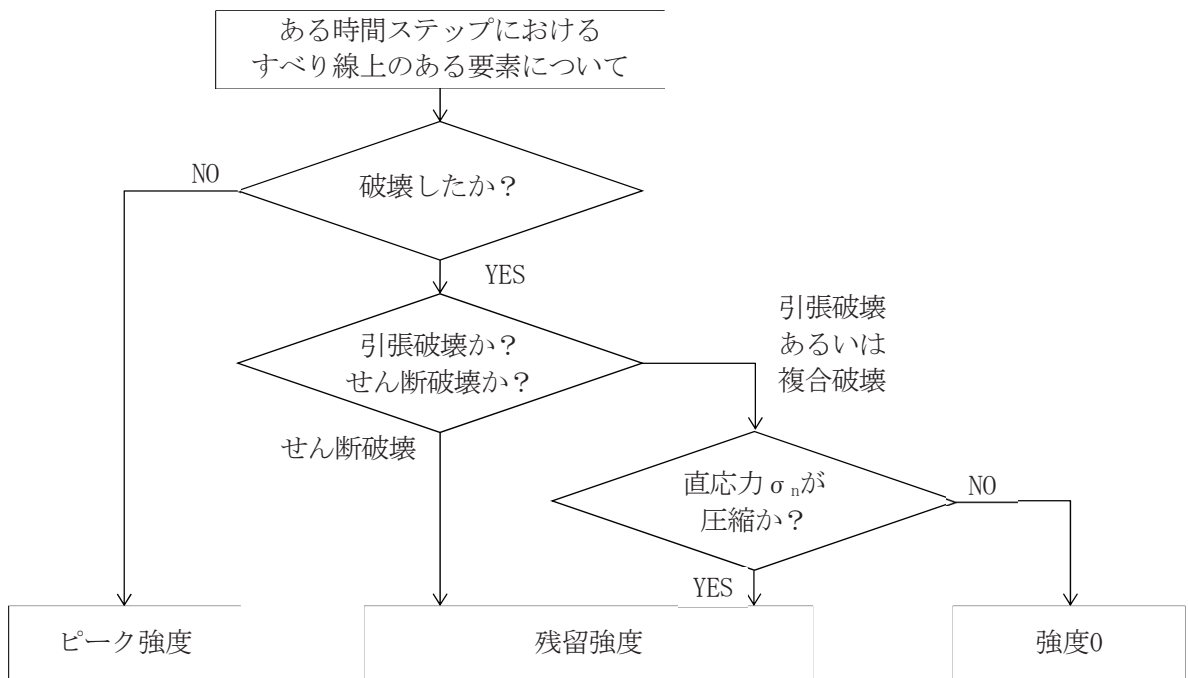


図3-2 破壊判定フローチャート

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

本解析コードを本解析に用いることについて、動作確認 (動作検証) として理論解との比較を、また妥当性確認を実施した。詳細な内容については下記のとおりとする。

3.5.1 検証 (Verification)

すべり線が通過する要素の滑動力や抵抗力を解析結果と理論解で比較を行った。

(1) 解析条件

解析モデル及び検証用すべり線を図 3-3 に、強度定数を表 3-1 に示す。

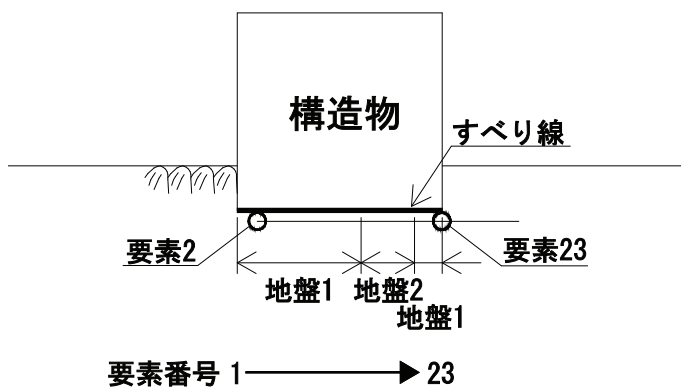


図3-3 解析モデル及び検証用すべり線

表3-1 強度定数

地盤区分	ピーク強度 (kgf/cm ²)	残留強度 (kgf/cm ²)
地盤 1	$\tau_p = 8.1 + \sigma_N \tan 55.7^\circ$	$\tau_r = 3.3 \times \sigma_N^{0.64}$
地盤 2	$\tau_p = 8.3 + \sigma_N \tan 54.5^\circ$	$\tau_r = 3.7 \times \sigma_N^{0.62}$

(2) 検証結果

すべり線が通過する要素の滑動力及び抵抗力を解析解と理論解で比較を行った。本解析コードによる解析解一覧を表 3-2 に、要素番号 2 の理論解を図 3-4 に、要素番号 23 の理論解を図 3-5 に示す。要素番号 2 及び 23 において、解析解と理論解は一致している。

また、理論解一覧を表 3-3 に、すべり線全体におけるすべり安全率の解析解と理論解との比較を表 3-4 に示す。すべり安全率及び滑動力，抵抗力の理論解と，解析解が一致することを確認できる。

要素番号	2	理論解安全率	-5.218	解析解安全率	-5.218
材料番号	25 (地盤1)				
構成節点	節点番号	X座標	Y座標	・応力変換式	
	I	1143	-3539	$\sigma_n = (\sigma_y + \sigma_x)/2 + (\sigma_y - \sigma_x)/2 * \cos(-2\theta) + \tau_{xy} * \sin(-2\theta)$	
	J	1142	-3539	$\tau_n = S = -(\sigma_y - \sigma_x)/2 * \sin(-2\theta) + \tau_{xy} * \cos(-2\theta)$	
	K	2139	-3264		
	L	2138	-3264		
すべり線交点		X座標	Y座標		
A点		-3539	-480		
B点		-3264	-480		
すべり線の通過長L(cm)				275	* $L = ((XB-XA)^2 + (YB-YA)^2)^{0.5}$
すべり線の角度 α (y軸となす角度, °)				0	* $\theta = \tan^{-1}((XB-XA)/(YB-YA))$
強度定数					
健全強度	せん断強度 τ_0 (kgf/cm ²)			8.1	
	内部摩擦角 ϕ (°)			55.7	
残留強度※	A			3.3	※強度定数A、Bは、下式の係数を示す
	B			0.64	$\tau = A \times \sigma^B$
応力(kgf/cm ²)	常時応力	地震時増分応力	常時+地震時増分応力		
σ_x	-5.748	-4.227	-9.975		
σ_y	-5.448	-3.164	-8.612		
τ_{xy}	-1.598	-2.299	-3.897		
浮力	0.268		0.268		
σ_N	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)		-8.612	* $\sigma_n = (\sigma_y + \sigma_x)/2 + (\sigma_y - \sigma_x)/2 * \cos(-2\theta) + \tau_{xy} * \sin(-2\theta)$	
σ_3	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)		-13.250	* $\sigma_3 = (\sigma_y + \sigma_x)/2 - (((\sigma_y - \sigma_x)/2)^2 + \tau_{xy}^2)^{0.5}$	
σ_1	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)		-5.338	* $\sigma_1 = (\sigma_y + \sigma_x)/2 + (((\sigma_y - \sigma_x)/2)^2 + \tau_{xy}^2)^{0.5}$	
要素ごとの安全係数 f_s			3.039	* $f_s = \text{ABS}((\tau_0 - ((\sigma_y + \sigma_x)/2 + \text{浮力}) * \tan \phi) * \cos \phi) / (((\sigma_y - \sigma_x)/2)^2 + \tau_{xy}^2)^{0.5}$	
破壊判定	$\sigma_1 < 0, f_s > 1.0 \Rightarrow$		IEP=0	*ピーク強度	
せん断抵抗応力R(kgf/cm ²)			20.332	* $R = \tau_p = \tau_0 - (\sigma_N + \text{浮力}) * \tan \phi$ (ピーク強度)	
せん断応力S(kgf/cm ²)			-3.897	* $S = -(\sigma_y - \sigma_x)/2 * \sin(-2\theta) + \tau_{xy} * \cos(-2\theta)$	
せん断抵抗力(kgf/cm)			5591.4	* $R \times L$	
せん断力(kgf/cm)			-1071.6	* $S \times L$	

図3-4 要素番号2の理論解

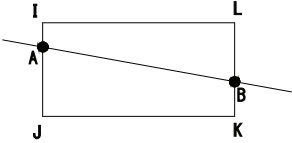
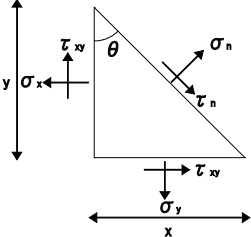
要素番号	23	理論解安全率	-0.980	解析解安全率	-0.980
材料番号	25 (地盤1)				
構成節点	節点番号	X座標	Y座標	・応力変換式	
	I	2177	3650.765	-475	$\sigma_n = (\sigma_y + \sigma_x) / 2 + (\sigma_y - \sigma_x) / 2 * \cos(-2\theta) + \tau_{xy} * \sin(-2\theta)$
	J	2178	3723.204	-774.524	$\tau_n = S = -(\sigma_y - \sigma_x) / 2 * \sin(-2\theta) + \tau_{xy} * \cos(-2\theta)$
	K	1559	3926	-800	
	L	1574	3931	-475	
					
すべり線交点		X座標	Y座標		
A点		3651.974	-480		
B点		3926	-480		
すべり線の通過長L(cm)				274.026	*L = ((XB-XA)^2 + (YB-YA)^2)^0.5
すべり線の角度α (y軸となす角度, °)				0	*θ = tan ⁻¹ ((XB-XA)/(YB-YA))
強度定数					
健全強度	せん断強度 τ ₀ (kgf/cm ²)			8.1	
	内部摩擦角 φ (°)			55.7	
残留強度※	A			3.3	※強度定数A、Bは、下式の係数を示す
	B			0.64	τ = A × σ ^B
応力(kgf/cm ²)	常時応力	地震時増分応力	常時+地震時増分応力		
σ _x	-11.601	3.147	-8.453		
σ _y	-8.630	7.053	-1.577		
τ _{xy}	-0.320	-3.709	-4.029		
浮力	0.253		0.253		
σ _n	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)		-1.577	*σ _n = (σ _y + σ _x) / 2 + (σ _y - σ _x) / 2 * cos(-2θ) + τ _{xy} * sin(-2θ)	
σ ₃	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)		-10.312	*σ ₃ = (σ _y + σ _x) / 2 - (((σ _y - σ _x) / 2) ² + τ _{xy} ²) ^{0.5}	
σ ₁	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)		0.282	*σ ₁ = (σ _y + σ _x) / 2 + (((σ _y - σ _x) / 2) ² + τ _{xy} ²) ^{0.5}	
要素ごとの安全係数fs			1.605	*fs = ABS((τ ₀ - ((σ _y + σ _x) / 2 + 浮力) * tan φ) * cos φ) / (((σ _y - σ _x) / 2) ² + τ _{xy} ²) ^{0.5}	
破壊判定	σ ₁ > 0, fs > 1.0 ⇒		IEP=10	*残留強度	
せん断抵抗力R(kgf/cm ²)			3.950	*R = τ _r = A * (σ _n + 浮力) ^B (残留強度)	
せん断応力S(kgf/cm ²)			-4.029	*S = -(σ _y - σ _x) / 2 * sin(-2θ) + τ _{xy} * cos(-2θ)	
せん断抵抗力(kgf/cm)			1082.5	*R × L	
せん断力(kgf/cm)			-1104.1	*S × L	

図3-5 要素番号23の理論解

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

すべり安全率の算定に本解析コードを使用することは、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、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本解析に適用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証及び妥当性確認として理論解との比較を実施し、解析解が理論解と一致することを確認した。したがって、本解析コードを本解析に用いることは妥当である。

3.5.3 評価結果

本解析コードの解析解とブシネスクの理論解との比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致していることを確認した。また類似の汎用構造解析プログラム TDAPⅢの解析結果と本解析コードによる解析結果の比較を行い、解がおおむね一致していることを確認した。

以上のことから、本解析コードを本解析に使用することは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0015_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-8 計算機プログラム（解析コード）の概要

- ・ stress-NLAP

2021年2月

東北電力株式会社

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）stress-NLAP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
VI-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. 2.91

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	stress-NLAP
使用目的	2次元有限要素法による常時応力解析
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1993年
使用したバージョン	Ver. 2.91
コードの概要	<p>stress-NLAP (以下「本解析コード」という。) は、2次元有限要素法解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 2次元有限要素プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・半無限弾性地盤におけるブシネスクの理論解と、本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機の可搬型重大事故等対処設備の保管場所の常時応力解析に本解析コード (Ver. 2.9) が使用された実績がある。 ・バージョン更新により新しい機能の追加が図られたが、本工事計画において使用するバージョン (Ver. 2.91) と他プラントの既工事計画において使用されたバージョン (Ver. 2.9) で使用している機能は同じである。 ・原子力産業界において実績のある TDAPⅢを用いた自重解析結果と、本解析コードによる自重解析結果を比較し、解がおおむね一致することを確認している。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0016_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-9 計算機プログラム（解析コード）の概要

- suberi_sf

2021年2月

東北電力株式会社

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）suberi_sf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
VI-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.2

2. 解析コードの概要

項目	コード名 suberi_sf
使用目的	2次元有限要素法によるすべり計算
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	2004年
使用したバージョン	ver. 2
コードの概要	<p>suberi_sf (以下「本解析コード」という。)は、すべり安全率の算定を行う解析コードであり、静的応力ファイル及び動的応力ファイルを読み込み、時刻歴で任意のすべり線の安全率を算定することができる。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①SuperFLUSH/2Dの動的応力ファイルを直接読むことができる。 ②要素の破壊履歴を考慮することができる。 ③各瞬間の要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしと判定することができる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・すべり線が通過する要素ごとの滑動力と抵抗力の解析解が、理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機の可搬型重大事故等対処設備の保管場所のすべり安全率の算定に本解析コード(ver. 2)が使用された実績がある。 ・検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画に本解析コードを適用することは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0017_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-10 計算機プログラム（解析コード）の概要

- ・ suberi_Type6789_SAC2D-HD1

2021年2月

東北電力株式会社

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. 解析手法	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	6
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	7
3.5.1 検証 (Verification)	7
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	10
3.5.3 評価結果	10

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）suberi_Type6789_SAC2D-HD1
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
VI-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.0

2. 解析コードの概要

項目	コード名 suberi_Type6789_SAC2D-HD1
使用目的	2次元有限要素法によるすべり計算
開発機関	株式会社ユニック
開発時期	2013年
使用したバージョン	ver.0
コードの概要	<p>suberi_Type6789_SAC2D-HD1 (以下「本解析コード」という。)は、すべり安全率算定を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>① 2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。</p> <p>② 要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・すべり線が通過する要素ごとの滑動力と抵抗力の解析解が、理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードで行うすべり安全率算定は、原子力発電所の設置許可申請における地盤安定性検討で一般に使用される計算方法であり、妥当性は十分に確認されている。 ・検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画に本解析コードを適用することは妥当である。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は、静的解析（常時応力算出用）解析コード`suberi_Type6789_SAC2D-HD1`の概要である。
本解析コードは、株式会社ユニックによって開発されたすべり安全率算定を行うプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴として、以下の①、②を挙げることができる。

①2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。

②要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。

3.3 解析手法

静的解析から得られる常時応力と動的解析から得られる地震時増分応力を足し合わせて、時刻歴のすべり安全率（想定すべり線に沿った要素を対象とした各時刻におけるせん断力とせん断抵抗力の比）を式(1)のように計算する。

$$\text{すべり安全率 } F_s = \frac{\text{すべり線が通る要素の抵抗力の総和の瞬間値}}{\text{すべり線が通る要素の滑動力の総和の瞬間値}} = \frac{\sum R_i \cdot L_i}{\sum \tau_i \cdot L_i} \quad (1)$$

なお、すべり安全率を算定する際、破壊要素の抵抗強度に関しては、各時間断面の破壊形態により以下に示した強度低下を考慮する。

(1) せん断破壊

せん断破壊した要素の強度定数には、残留強度を用いる。

(2) 引張破壊あるいは複合破壊

引張応力の発生により引張破壊あるいは複合破壊した要素の強度定数は、その要素を通るすべり面の直応力 σ_n により以下に示した強度定数を用いる。

- ・直応力 σ_n が圧縮の場合、強度定数に残留強度を用いる。
- ・直応力 σ_n が引張の場合、強度定数を 0 とする。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示し、破壊判定のフローチャートを図 3-2 に示す。

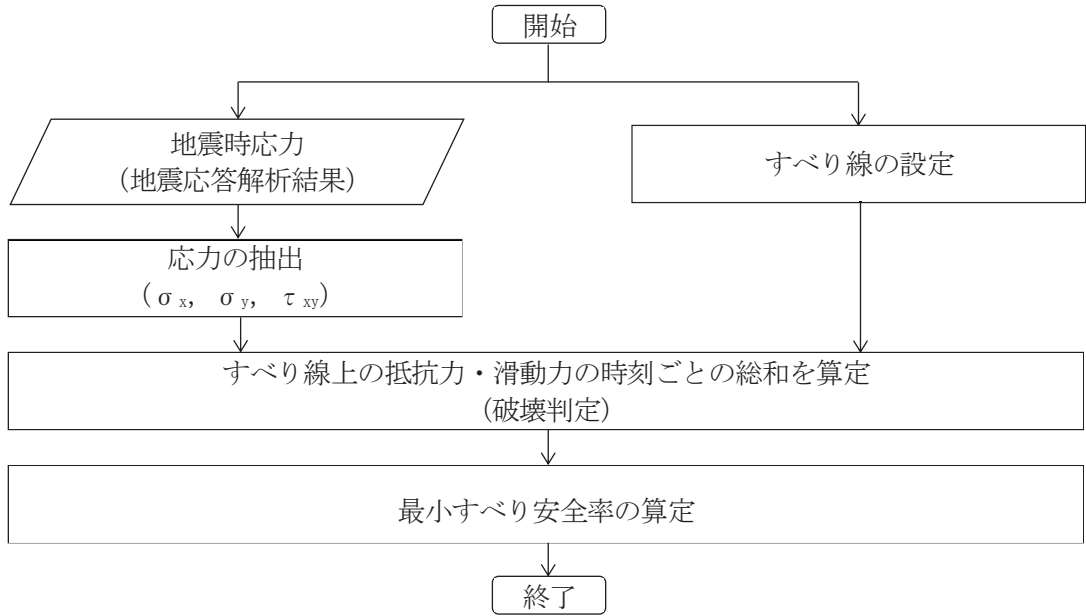


図3-1 解析フローチャート

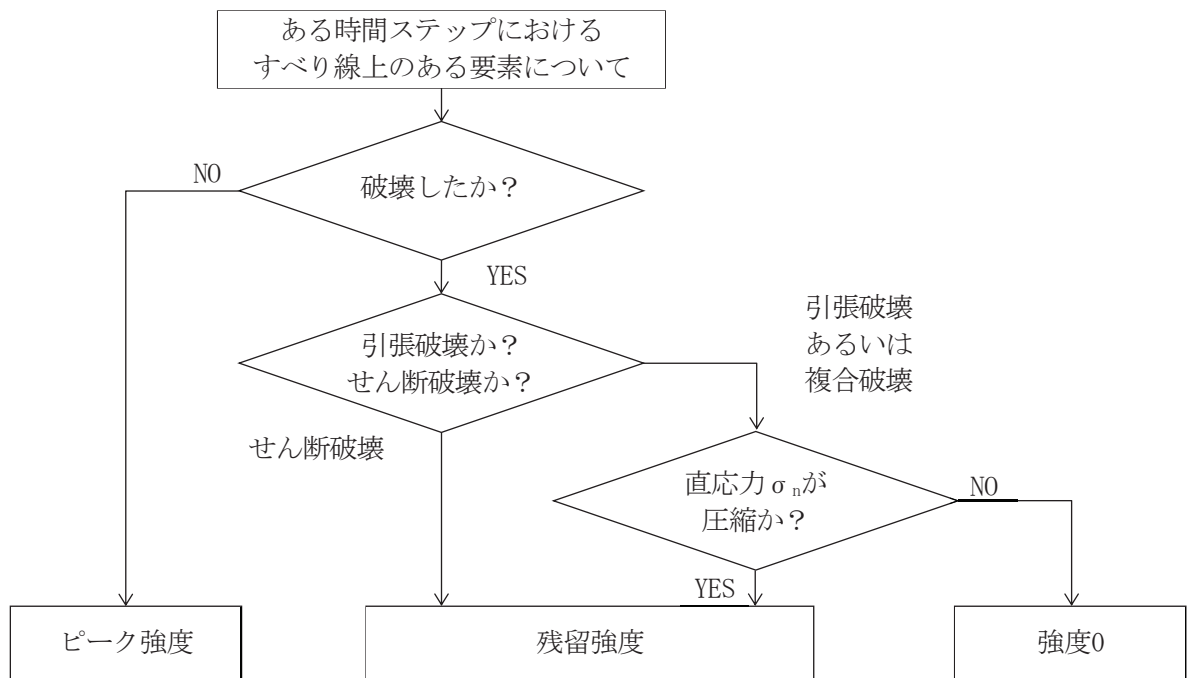


図3-2 破壊判定フローチャート

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

本解析コードを本解析に用いることについて、動作確認 (動作検証) として理論解との比較を、また妥当性確認を実施した。詳細な内容については下記のとおりとする。

3.5.1 検証 (Verification)

すべり線が通過する要素の滑動力や抵抗力を解析結果と理論解で比較を行った。

(1) 解析条件

解析モデル及び検証用すべり線を図 3-3 に、強度定数を表 3-1 に示す。

ELEMENT NO.									
64	65	66	67	83	84	85	86	102	103
104	105	361	362	363	364	365	366	367	368
369	370								

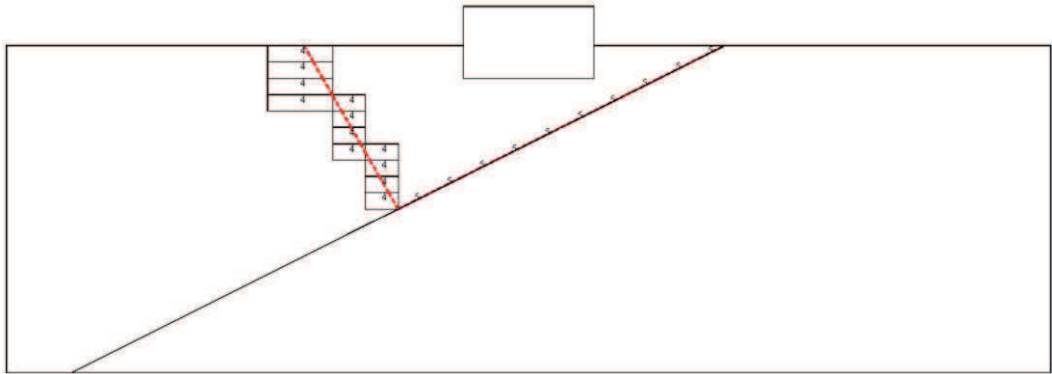


図3-3 解析モデル及び検証用すべり線

表3-1 強度定数

	ピーク強度 (MN/m ²)	残留強度 (MN/m ²)
要素種類 4	$\tau_p=1.0$	$\tau_r=0.5$
要素種類 5	$\tau_p=0.75$	$\tau_r=0.0$

(2) 検証結果

すべり線が通過する要素の滑動力及び抵抗力を解析解と理論解で比較を行った。本解析コードによる解析解一覧を表 3-2 に、理論解一覧を表 3-3 示す。

すべり安全率及び作用力、抵抗力の理論解と、解析解が一致することを確認できる。

表 3-2 本解析コードによる解析解一覧

抽出 ステップ	要素 番号	すべり安全率算定プログラム												
		要素 種類	破壊 ^{*1)} タイプ	すべり線 長さ(m)	すべり線 角度(°)	水平応力 σ_x (MN/m ²)	鉛直応力 σ_y (MN/m ²)	せん断応力 τ_{xy} (MN/m ²)	せん断応力 τ_s (MN/m ²)	垂直応力 σ_n (MN/m ²)	すべり線上の 強度 τR (MN/m ²)	抵抗力 (MN/m)	作用力 (MN/m)	
1	64	4	2	2.887	300.000	0.002	-0.024	-0.005	0.014	-0.009	0.5	1.444	0.040	
2	65	4	0	2.887	300.000	-0.043	-0.073	-0.017	0.021	-0.065	1.0	2.887	0.061	
3	66	4	0	2.887	300.000	-0.089	-0.122	-0.029	0.029	-0.123	1.0	2.887	0.084	
4	67	4	0	0.208	300.001	-0.134	-0.171	-0.042	0.037	-0.179	1.0	0.208	0.008	
5	83	4	0	2.679	300.000	-0.134	-0.174	-0.045	0.040	-0.182	1.0	2.679	0.107	
6	84	4	0	2.887	300.000	-0.178	-0.224	-0.058	0.049	-0.24	1.0	2.887	0.141	
7	85	4	0	2.887	300.000	-0.222	-0.275	-0.071	0.058	-0.297	1.0	2.887	0.169	
8	86	4	0	1.547	300.000	-0.265	-0.326	-0.093	0.068	-0.353	1.0	1.547	0.105	
9	102	4	0	1.340	300.000	-0.265	-0.333	-0.088	0.073	-0.359	1.0	1.340	0.098	
10	103	4	0	2.887	300.000	-0.307	-0.385	-0.099	0.083	-0.413	1.0	2.887	0.240	
11	104	4	0	2.887	300.000	-0.347	-0.434	-0.110	0.092	-0.464	1.0	2.887	0.266	
12	105	4	0	2.887	300.000	-0.394	-0.487	-0.117	0.099	-0.519	1.0	2.887	0.285	
13	361	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.115	-0.376	0.75	4.193	-0.643	
14	362	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.116	-0.342	0.75	4.193	-0.649	
15	363	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.112	-0.312	0.75	4.193	-0.628	
16	364	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.103	-0.28	0.75	4.193	-0.573	
17	365	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.090	-0.243	0.75	4.193	-0.503	
18	366	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.078	-0.206	0.75	4.193	-0.435	
19	367	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.060	-0.148	0.75	4.193	-0.336	
20	368	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.044	-0.086	0.75	4.193	-0.247	
21	369	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.033	-0.047	0.75	4.193	-0.182	
22	370	5	0	5.600	26.565	-	-	-	-0.011	-0.013	0.75	4.200	-0.060	
合計												69.359	-2.653	
すべり安全率												26.146		

*1)破壊タイプ=0：破壊無し，=2：引張破壊

表 3-3 理論解一覧

抽出 ステップ	要素 番号	確認計算											抵抗力 (MN/m)	作用力 (MN/m)
		要素 種類	破壊 ^{*1)} タイプ	すべり線 長さ(m)	すべり線 角度(°)	水平応力 σ_x (MN/m ²)	鉛直応力 σ_y (MN/m ²)	せん断応力 τ_{xy} (MN/m ²)	せん断応力 τ_s (MN/m ²)	垂直応力 σ_n (MN/m ²)	すべり線上 の強度 τ_R (MN/m ²)			
1	64	4	2	2.887	300.000	0.002	-0.024	-0.005	0.014	-0.009	0.5	1.444	0.040	
2	65	4	0	2.887	300.000	-0.043	-0.073	-0.017	0.021	-0.065	1.0	2.887	0.061	
3	66	4	0	2.887	300.000	-0.089	-0.122	-0.029	0.029	-0.123	1.0	2.887	0.084	
4	67	4	0	0.208	300.001	-0.134	-0.171	-0.042	0.037	-0.179	1.0	0.208	0.008	
5	83	4	0	2.679	300.000	-0.134	-0.174	-0.045	0.040	-0.182	1.0	2.679	0.107	
6	84	4	0	2.887	300.000	-0.178	-0.224	-0.058	0.049	-0.240	1.0	2.887	0.141	
7	85	4	0	2.887	300.000	-0.222	-0.275	-0.071	0.058	-0.297	1.0	2.887	0.169	
8	86	4	0	1.547	300.000	-0.265	-0.326	-0.083	0.068	-0.353	1.0	1.547	0.105	
9	102	4	0	1.340	300.000	-0.265	-0.333	-0.088	0.073	-0.359	1.0	1.340	0.098	
10	103	4	0	2.887	300.000	-0.307	-0.385	-0.099	0.083	-0.413	1.0	2.887	0.240	
11	104	4	0	2.887	300.000	-0.347	-0.434	-0.110	0.092	-0.464	1.0	2.887	0.266	
12	105	4	0	2.887	300.000	-0.394	-0.487	-0.117	0.099	-0.519	1.0	2.887	0.285	
13	361	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.115	-0.376	0.75	4.193	-0.643	
14	362	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.116	-0.342	0.75	4.193	-0.649	
15	363	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.112	-0.312	0.75	4.193	-0.628	
16	364	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.103	-0.280	0.75	4.193	-0.573	
17	365	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.090	-0.243	0.75	4.193	-0.503	
18	366	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.078	-0.206	0.75	4.193	-0.435	
19	367	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.060	-0.148	0.75	4.193	-0.336	
20	368	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.044	-0.086	0.75	4.193	-0.247	
21	369	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.033	-0.047	0.75	4.193	-0.182	
22	370	5	0	5.600	26.565	-	-	-	-0.011	-0.013	0.75	4.200	-0.060	
合計													69.359	-2.653
すべり安全率													26.146	

*1)破壊タイプ=0：破壊無し，=2：引張破壊

すべり線上のせん断応力： $\tau_s = (\sigma_y - \sigma_x) \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy}(\sin^2 \theta - \cos^2 \theta)$

すべり線上の垂直応力： $\sigma_n = \sigma_y \cos^2 \theta - \sigma_x \sin^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta$

すべり線上の強度： $\tau_R = \tau_p + \sigma_n \tan \varphi$

すべり線上の抵抗力：すべり線上の強度(τ_R)×すべり線長さ

すべり線上の作用力：すべり線上のせん断応力(τ_s)×すべり長さ

すべり安全率： $F_s = \Sigma \text{抵抗力} / \Sigma \text{作用力}$

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

すべり安全率の算定に本解析コードを使用することは、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、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本解析に適用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証及び妥当性確認として理論解との比較を実施し、解析解が理論解と一致することを確認した。したがって、本解析コードを本解析に用いることは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0018_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-11 計算機プログラム（解析コード）の概要

- ・ SuperFLUSH/2D

2021年2月

東北電力株式会社

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）SuperFLUSH/2D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
VI-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. 0
VI-2-10-2-4-1	取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）の耐震性についての計算書	Ver. 6. 1
VI-2-10-2-4-2	取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の耐震性についての計算書	Ver. 6. 1
VI-2-別添 3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 6. 1

2. 解析コードの概要

コード名	SuperFLUSH/2D
項目	
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析（斜面安定解析）
開発機関	株式会社地震工学研究所，株式会社構造計画研究所
開発時期	1983年
使用したバージョン	Ver. 6.0, Ver. 6.1
コードの概要	<p>SuperFLUSH/2D（以下「本解析コード」という。）は，地盤－構造物系の地震応答解析の汎用コードである。</p> <p>複素応答に基づいた有限要素法を用いた本解析コードは，1974年のLUSH及び1975年にカリフォルニア大学から発表されたFLUSHの改良版である。</p> <p>本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，建築，土木等の構造物の地盤と構造物の地震応答解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で使用する地震応答解析機能の検証として，水平成層地盤の側方にエネルギー伝達境界を設けたモデルによる地震応答解析結果が，側方半無限性を仮定した1次元重複反射理論に基づく別コードSHAKEによる地震応答解析結果と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，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。 ・九州電力株式会社玄海原子力発電所第3号機の取水管路の地震応答解析に本解析コード（Ver. 6.0）が使用された実績がある。 ・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次元有限要素法による地震応答解析に，本解析コードが適用できることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・本工事計画で行う 2 次元有限要素法による地震応答解析の用途, 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。・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 6. 0 は, 他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 6. 1 は, 他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが, バージョンの変更において, 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。
--	---

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0019_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-12 計算機プログラム（解析コード）の概要

・VESL-DYN

2021年9月

東北電力株式会社

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. 解析手法.....	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)	10
3.5.1 検証 (Verification)	10
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	16
3.5.3 評価結果.....	19

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）VESL-DYN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
VI-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. 2. 03
VI-2-11-2-15	第 1 号機排気筒の耐震性についての計算書	Ver. 2. 03

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	VESL-DYN
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1982年
使用したバージョン	Ver. 2.03
コードの概要	<p>VESL-DYN（以下「本解析コード」という。）は、2次元有限要素法による地震応答解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①2次元有限要素法による周波数領域の解析プログラムである。 ②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮できる。 ④エネルギー伝達境界によりモデル側方、粘性境界によりモデル下方に伝わるエネルギーの逸散効果を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水平成層地盤を対象に重複反射理論による解との比較を実施し、解析結果がおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力産業界において実績のある SuperFLUSH/2D を用いた地震応答解析結果と、本解析コードによる解析結果を比較し、解がおおむね一致することを確認している。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は、地震応答解析用解析コード VESL-DYN の概要である。

本解析コードは、鹿島建設株式会社によって開発された 2 次元有限要素法による地震応答解析を行う解析コードである。本解析コードでは、複素応答に基づいた有限要素法による地震応答解析を実施可能であり、地盤～構造物連成系の相互作用を考慮することができる。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードは、2 次元地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析コードであり、周波数領域で運動方程式の解法を行うものである。地盤の非線形性は等価線形化法によって考慮することができる。

本解析コードの主な特徴として、以下の①～④を挙げることができる。

- ① 2 次元有限要素法による周波数領域の解析プログラムである。
- ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。
- ③ 地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮できる。
- ④ エネルギー伝達境界によりモデル側方、粘性境界によりモデル下方に伝わるエネルギーの逸散効果を考慮できる。

3.3 解析手法

(1) 周波数応答解析法

一般に、時間領域における運動方程式は次式で表される。

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

ここで、

- [M] : 質量マトリックス
- [C] : 減衰マトリックス
- [K] : 剛性マトリックス
- {u} : 変位ベクトル
- {v} : 入力方向ベクトル
- $\ddot{\alpha}$: 地震加速度

本解析コードでは、周波数応答解析法を式(1)に適用し解析する。この手法は、図 3-1 に示すように、入力地震動の時系列データを高速フーリエ変換により周波数成分ごとに分解し、応答値の重ね合わせが成立するものとして、周波数成分ごとに解析した結果を重ね合わせて応答値を求める手法である。

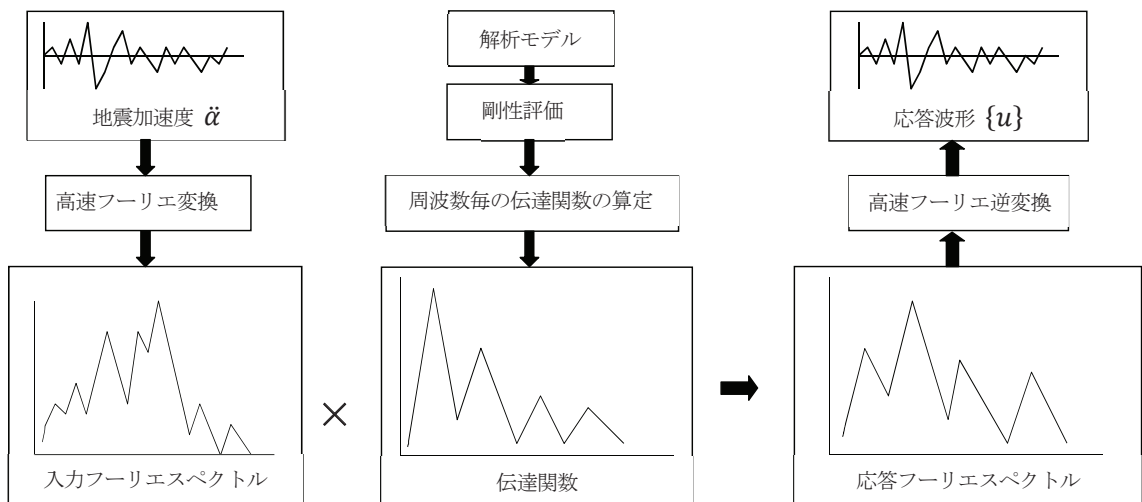


図 3-1 周波数応答解析の概念図

角振動数 ω の単位振幅波を基盤入力地震加速度とし、減衰を考慮した式(2)の複素剛性 $[K^*]$ を用いると、式(1)は式(3)の運動方程式となる。

$$[K^*] = \sum_j \left\{ (1 - 2h_j^2) + i \cdot 2h_j \sqrt{1 - h_j^2} \right\} [K]_j \quad (2)$$

ここで、

h_j : 要素 j の減衰定数

$[K]_j$: 要素 j の剛性マトリックス

(i は虚数単位, $*$ は複素数であることを表す)

$$[M]\{\ddot{u}^*\} + [K^*]\{u^*\} = -[M]\{v\}e^{i\omega t} \quad (3)$$

調和振動を仮定し変位ベクトルを、

$$\{u^*\} = \{x^*(\omega)\}e^{i\omega t} \quad (4)$$

とおけば、式(3)から $e^{i\omega t}$ を消去して次式のように表すことができる。

$$\{x^*(\omega)\} = -([K^*] - \omega^2[M])^{-1}[M]\{v\} \quad (5)$$

$\{x^*(\omega)\}$ は、単位入力加速度 (角振動数 ω) に対する変位の伝達関数である。

ところで、フーリエ変換を用いると、 N 個の時系列データからなる地震加速度 $\ddot{a}(t)$ は、下記のような $N/2 + 1$ 個の振動の和として表すことができる。

$$\ddot{a}(t) = R_e \left[\sum_{n=0}^{N/2} A_n^* e^{i\omega_n t} \right] \quad (6)$$

ここで、 A_n^* はフーリエ変換から得られる係数、 R_e は実部を抽出する関数である。

この A_n^* と式(5)から求まる変位の伝達関数 $\{x_n^*\} = \{x^*(\omega_n)\}$ との積をフーリエ逆変換することにより変位の時刻歴応答が求まる。

$$\{u(t)\} = R_e \left[\sum_{n=0}^{N/2} \{x_n^*\} A_n^* e^{i\omega_n t} \right] \quad (7)$$

同様に、変位の伝達関数から求められる加速度・応力・ひずみ等の伝達関数を用いると、それぞれの時刻歴応答を求めることができる。

(2) 等価線形化法

周波数応答解析法は、周波数ごとの応答の重ね合わせを仮定しているため、適用は線形問題に限られ、せん断剛性・減衰のせん断ひずみ依存性を直接評価することができない。そこで、等価線形化法を用いて地盤の非線形性を考慮した解析を行う。この手法は、最大せん断ひずみレベルに対応したせん断剛性・減衰を用いた周波数応答解析を、応答結果を入力値としてせん断剛性・減衰が十分収束するまで繰り返す方法である。

3.4 解析フローチャート

図 3-2 に周波数応答解析のフローチャート，図 3-3 に等価線形化法による等価せん断剛性・減衰の算定フローチャートを示す。図 3-3 に示した等価線形化法により求めた収束せん断剛性・減衰を用い，図 3-2 のフローに従い各種時刻歴応答を求める。

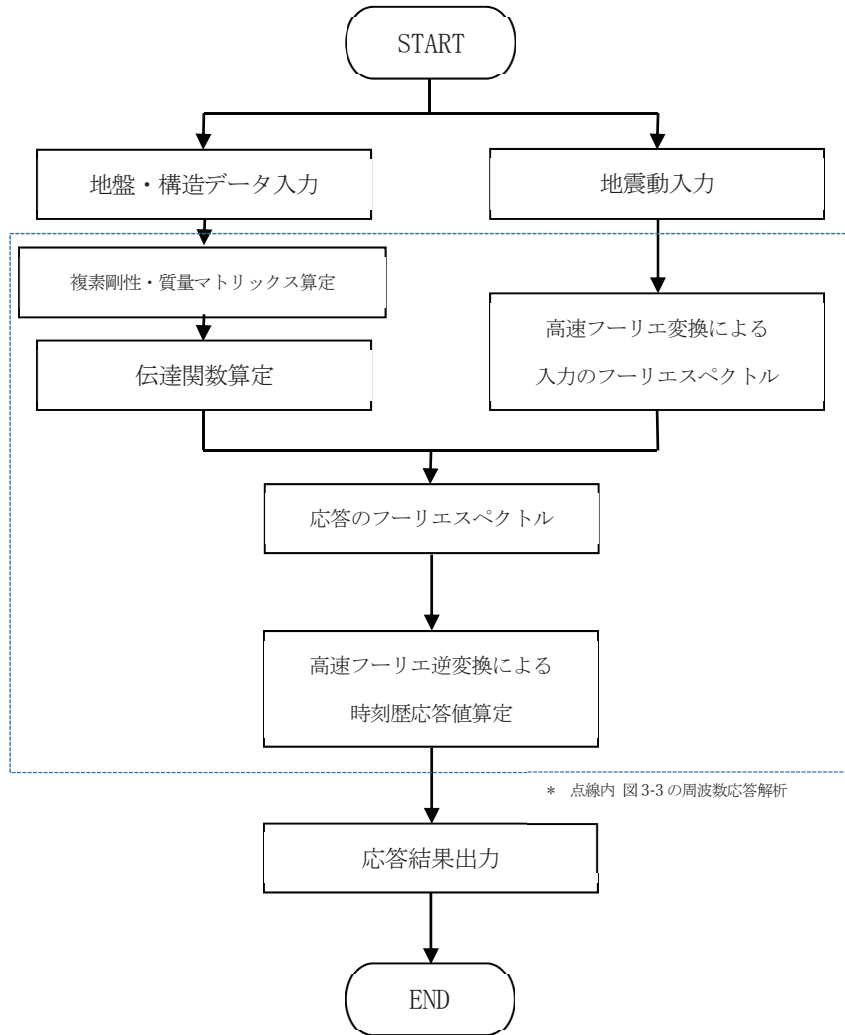


図 3-2 周波数応答解析フローチャート

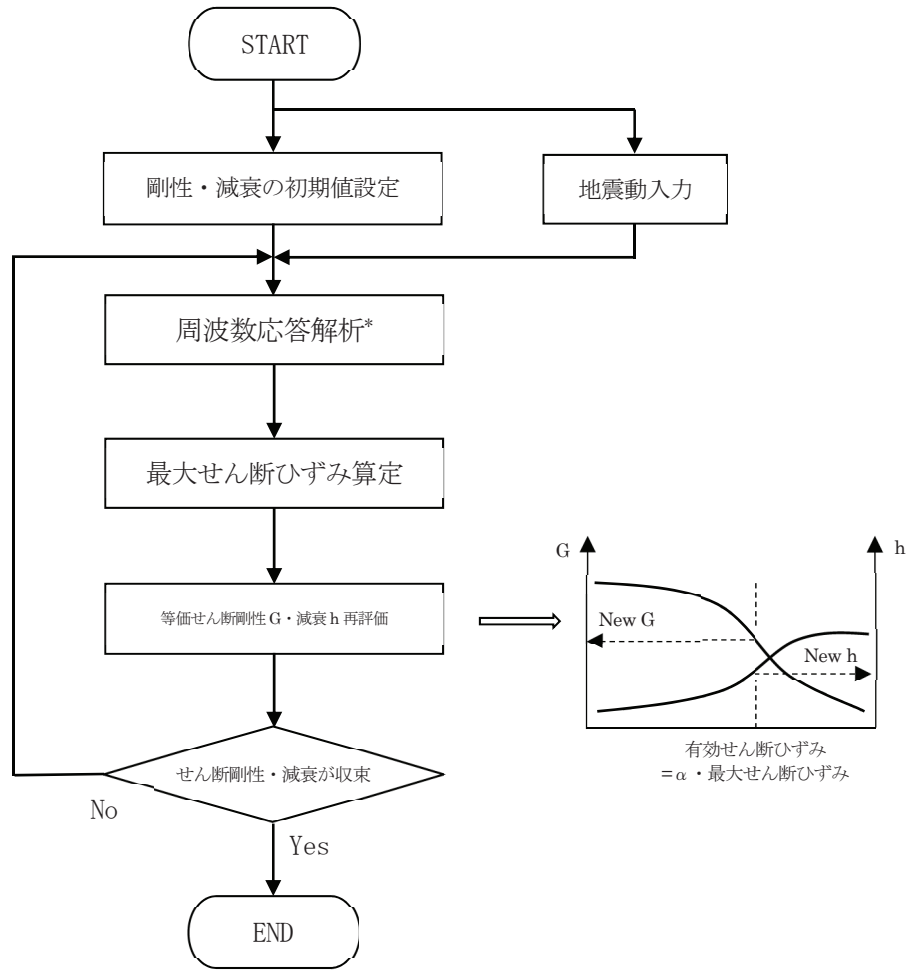


図 3-3 等価線形化法による等価せん断剛性・減衰算定フローチャート

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

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証として水平成層地盤を対象に重複反射理論による解との比較を実施する。また、妥当性確認として類似の汎用プログラム SuperFLUSH/2D による解析結果と、本解析コードによる解析解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)

水平成層地盤を対象に重複反射理論による解との比較を実施する。重複反射理論には、カルフォルニア大学バークレー校による1次元地盤の等価線形解析プログラム SHAKE-91 を使用する。すべり線が通過する要素の滑動力や抵抗力を解析結果と理論解で比較を行った。

(1) 検証モデル

検討対象とする地盤モデルの諸元を表 3-1 に示す。地盤のひずみ依存特性を図 3-4～図 3-9 に示す。

表3-1 地盤モデル諸元

区分	層厚 (m)	分割 (m)	深度 (m)	湿潤単位 体積重量 γ_t (kN/m ³)	動的せん断 弾性係数 Gd (kN/m ²)	動的ポアソン比 ν_d	せん断波速度 Vs (m/s)	減衰定数 h
第1粘性土層	4.00	1.00	1.00	17	21000	0.48	110	0.030
		1.00	2.00	17	21000	0.48	110	0.030
		1.00	3.00	17	21000	0.48	110	0.030
		1.00	4.00	17	21000	0.48	110	0.030
第2粘性土層	10.80	1.20	5.20	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	6.40	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	7.60	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	8.80	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	10.00	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	11.20	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	12.40	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	13.60	16	25000	0.48	124	0.020
第3粘性土層	9.60	1.60	16.40	16	43000	0.48	162	0.020
		1.60	18.00	16	43000	0.48	162	0.020
		1.60	19.60	16	43000	0.48	162	0.020
		1.60	21.20	16	43000	0.48	162	0.020
		1.60	22.80	16	43000	0.48	162	0.020
		1.60	24.40	16	43000	0.48	162	0.020
第1砂質土層	1.20	1.20	25.60	19	159000	0.48	286	0.020
第4粘性土層	8.00	2.00	27.60	17	110000	0.48	252	0.020
		2.00	29.60	17	110000	0.48	252	0.020
		2.00	31.60	17	110000	0.48	252	0.020
		2.00	33.60	17	110000	0.48	252	0.020
第2砂質土層	2.00	2.00	35.60	19	273000	0.48	375	0.010
礫層(基盤)				20	398000	0.48	442	0.010

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.985	2.30
0.0005	0.930	2.80
0.001	0.880	3.20
0.002	0.819	3.60
0.005	0.729	4.40
0.01	0.648	5.10
0.02	0.578	5.70
0.05	0.459	7.30
0.1	0.381	9.20
0.2	0.300	11.00
0.5	0.198	14.00
1	0.129	16.10
2	0.078	17.60
5	0.028	19.20
10	0.014	20.00

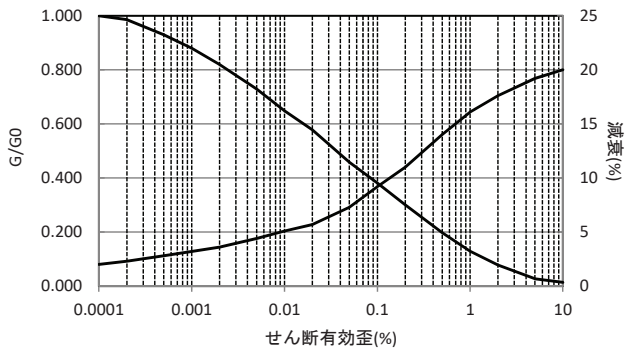


図3-4 ひずみ依存特性 (第1粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.989	2.30
0.0005	0.952	2.80
0.001	0.916	3.20
0.002	0.874	3.60
0.005	0.811	4.40
0.01	0.752	5.10
0.02	0.698	5.70
0.05	0.601	7.30
0.1	0.500	9.20
0.2	0.394	11.00
0.5	0.259	14.00
1	0.170	16.10
2	0.102	17.60
5	0.036	19.20
10	0.018	20.00

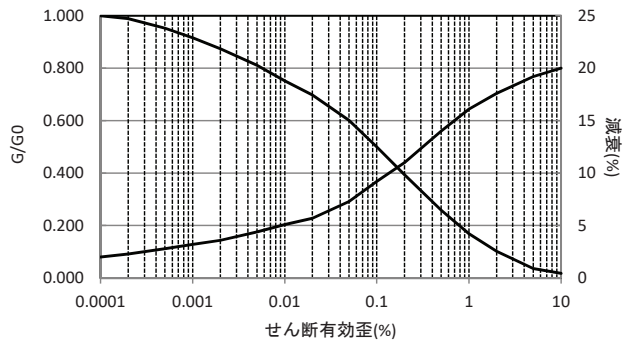


図3-5 ひずみ依存特性 (第2粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.963	2.80
0.001	0.934	3.20
0.002	0.902	3.60
0.005	0.853	4.40
0.01	0.807	5.10
0.02	0.764	5.70
0.05	0.684	7.30
0.1	0.569	9.20
0.2	0.448	11.00
0.5	0.295	14.00
1	0.193	16.10
2	0.116	17.60
5	0.041	19.20
10	0.021	20.00

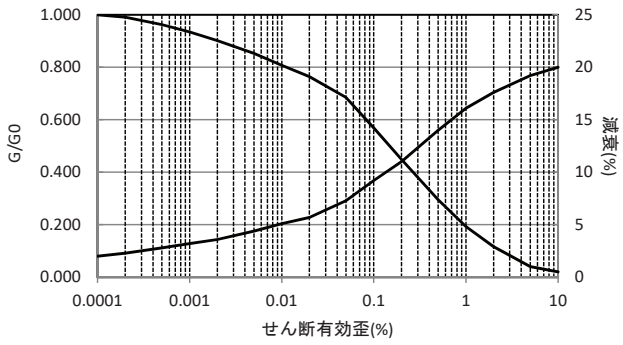


図3-6 ひずみ依存特性 (第3粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.980	2.80
0.001	0.962	3.20
0.002	0.933	3.60
0.003	0.910	4.40
0.005	0.873	5.10
0.01	0.797	5.70
0.02	0.699	7.30
0.03	0.616	9.20
0.05	0.512	11.00
0.1	0.367	14.00
0.2	0.237	16.10
0.3	0.177	17.60
0.5	0.113	19.20
1	0.061	20.00

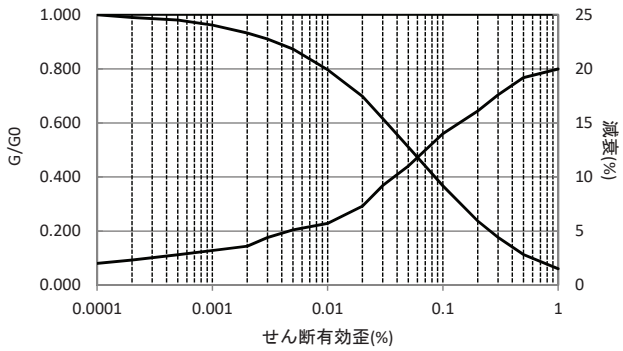


図3-7 ひずみ依存特性 (第1砂質土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.700
0.0002	0.990	0.900
0.0005	0.970	1.300
0.001	0.950	1.600
0.002	0.928	1.900
0.003	0.908	2.300
0.005	0.880	2.800
0.01	0.834	3.700
0.02	0.769	5.000
0.03	0.715	6.300
0.05	0.627	8.400
0.07	0.563	9.900
0.1	0.491	11.900
0.15	0.415	14.200
0.2	0.362	15.800
0.3	0.288	18.300
0.5	0.200	21.700
0.7	0.145	23.300
1	0.085	26.400

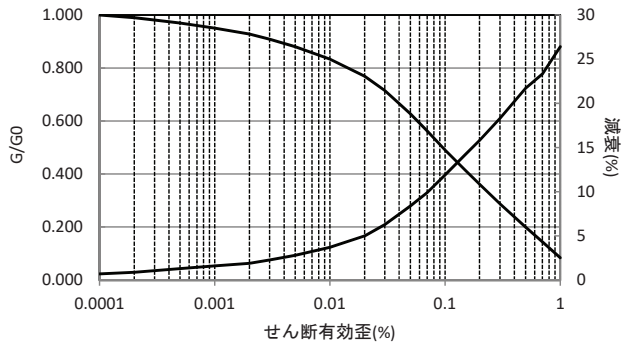


図3-8 ひずみ依存特性 (第4粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.00
0.0002	0.997	0.08
0.0005	0.991	0.28
0.001	0.977	0.70
0.002	0.953	1.41
0.003	0.932	2.04
0.005	0.899	3.02
0.01	0.832	5.03
0.02	0.740	7.79
0.03	0.661	10.16
0.05	0.563	13.10
0.1	0.418	17.46
0.2	0.277	21.70
0.3	0.209	23.73
0.5	0.134	25.97
1	0.072	27.83

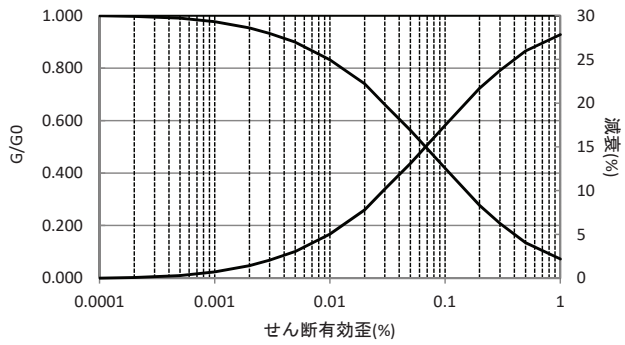


図3-9 ひずみ依存特性 (第2砂質土層)

(2) 入力地震動

入力地震動の加速度時刻歴を図 3-10 に示す。

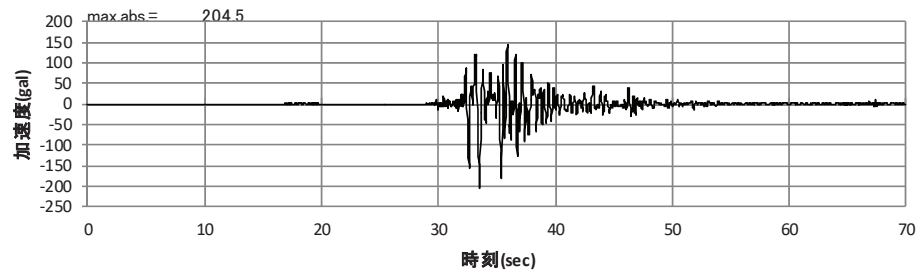


図3-10 入力地震動の加速度時刻歴（水平成分）

(3) 解析結果

重複反射理論 SHAKE による解と本解析コード VESL-DYN の解析結果を図 3-11, 図 3-12 に比較する。伝達関数及び加速度がおおむね一致していることが確認できる。

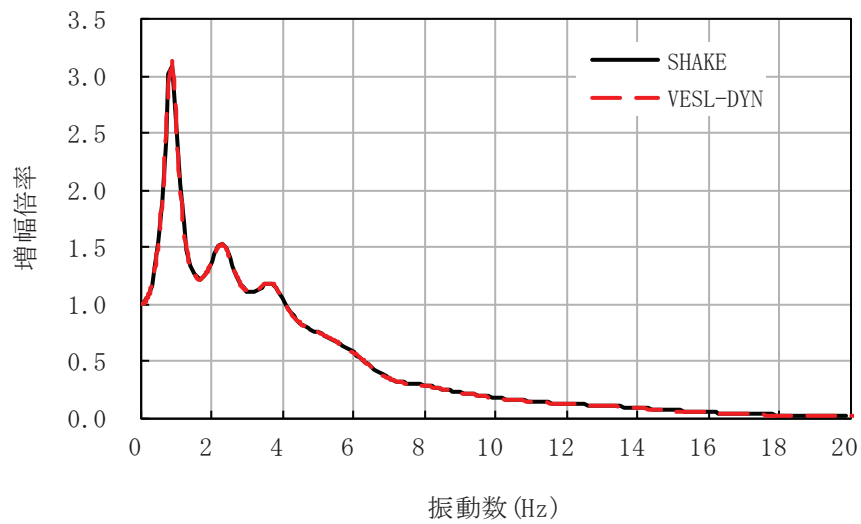


図3-11 地表面の伝達関数

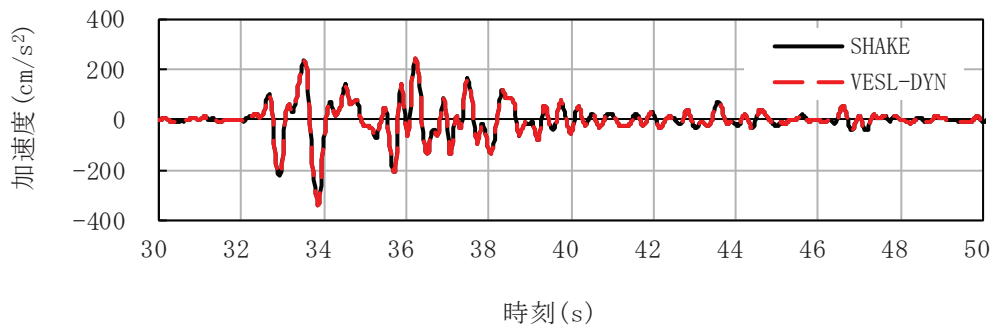


図3-12 地表面の加速度時刻歴

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

原子力産業界において実績のある SuperFLUSH/2D を用いた地震応答解析結果と、本解析コードによる解析結果を比較する。

(1) 解析モデル

解析モデルを図 3-13 に示す。

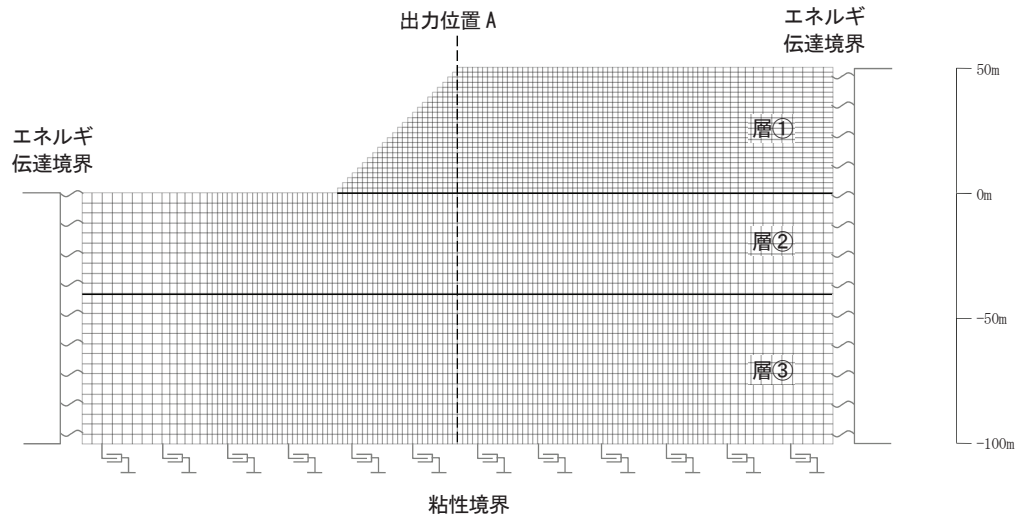


図3-13 解析モデル

(2) 解析条件

地盤モデルの諸元を表 3-2 に示す。

表3-2 地盤モデル諸元

	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断弾性係数 (kN/m ²)	ポアソン比	減衰定数
層①	20.0	330000	0.40	0.03
層②	22.0	1400000	0.38	0.03
層③	24.0	3500000	0.35	0.03

(3) 入力地震動

入力地震動の加速度時刻歴を図 3-14 に示す。

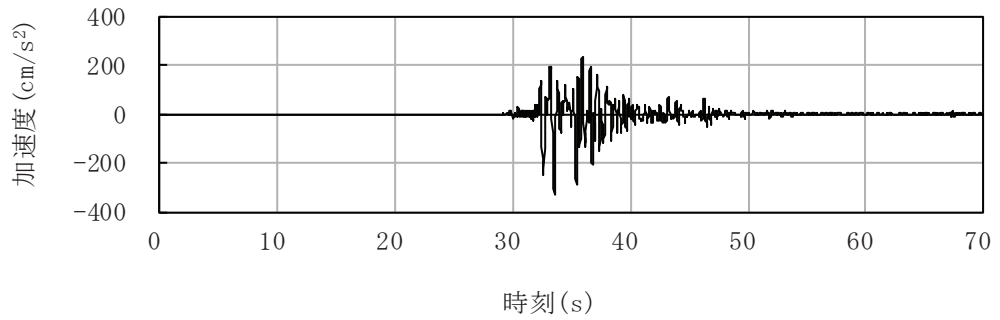


図3-14 入力地震動の加速度時刻歴（水平成分）

(4) 解析結果

図 3-13 に示す出力位置 A における最大水平加速度分布を図 3-15 に、最大水平せん断応力分布を図 3-16 に示す。各図より結果はおおむね一致していることが確認できる。

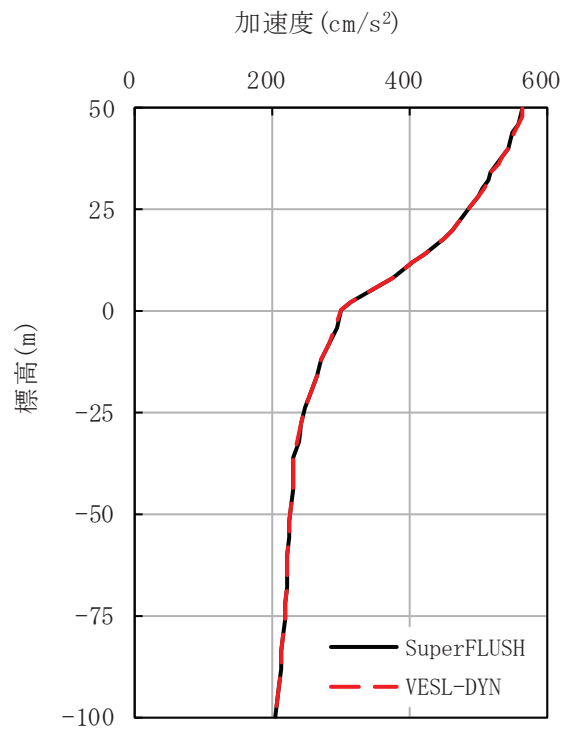


図3-15 最大水平加速度分布（出力位置A）

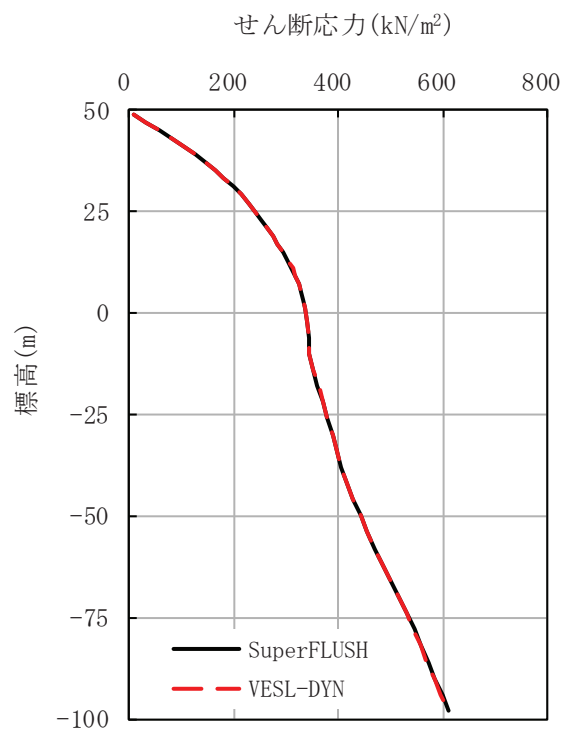


図3-16 最大水平せん断応力分布（出力位置A）

3.5.3 評価結果

本解析コードの検証として水平成層地盤を対象に重複反射理論による解との比較を実施し、解析解がおおむね一致することを確認した。また、妥当性確認として類似の汎用プログラム SuperFLUSH/2D による解析結果と、本解析コードによる解析結果との比較を実施し、解析結果がおおむね一致していることを確認した。

以上のことから、本解析コードを本解析に使用することは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0020_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-13 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ABAQUS

2021年9月

東北電力株式会社

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 ABAQUS ver. 6. 12, ver. 6. 13.....	3
2.2 ABAQUS ver. 6. 12-3.....	5
2.3 ABAQUS ver. 6. 14-1.....	7
2.4 ABAQUS ver. 2017.....	9
2.5 ABAQUS ver. 2016, ver. 2018.....	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）ABAQUS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
VI-1-8-1	原子炉格納施設の設計条件に関する説明書について	ver. 6. 12, ver. 6. 13
VI-2-2-4	制御建屋の耐震性についての計算書	ver. 2016
VI-2-9-3-4	原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書	ver. 2016
VI-2-11-2-1	海水ポンプ室門型クレーンの耐震性についての計算書	ver. 6. 14-1
VI-2-11-2-8	原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書	ver. 6. 14-1
VI-2-12-1	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	ver. 2016
VI-3-3-2-2-1-2	燃料プール冷却浄化系ポンプの強度計算書	ver. 6. 12-3
VI-3-別添 1-1-1	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書	ver. 2018
VI-3-別添 2-1-3	復水貯蔵タンクの強度計算書	ver. 2017

2. 解析コードの概要

2.1 ABAQUS ver. 6.12, ver. 6.13

項目		コード名
		ABAQUS
使用目的	ver. 6.12	3次元有限要素法（ソリッド要素）による弾塑性解析
	ver. 6.13	3次元有限要素法（ソリッド要素）による弾塑性解析 2次元有限要素法（シェル要素）による弾塑性解析 2次元有限要素法（軸対称モデル）による温度分布計算
開発機関		ダッソー・システムズ社（旧 HKS 社）
開発時期		1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ社）
使用したバージョン		ver. 6.12, ver. 6.13
コードの概要		<p>ABAQUS（以下「本解析コード」という。）は、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され、ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素、連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析、座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)		<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用する適用要素（シェル要素、ソリッド要素）について、解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。• 使用する解析モデルは、既工事計画及び耐震評価にて実績のある関連規格並びに文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。• 開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（ソリッド要素）による弾塑性解析、2次元有限要素法（シェル要素）による弾塑性解析及び2次元有限要素法（軸対称モデル）による温度分布計算に、本解析コードが適用できることを確認している。
--	---

2.2 ABAQUS ver. 6.12-3

項目	コード名 ABAQUS
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析
開発機関	ダッソー・システムズ社（旧 HKS 社）
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ社）
使用したバージョン	ver. 6.12-3
コードの概要	<p>ABAQUS（以下「本解析コード」という。）は、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され、ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素、連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析、座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について応力解析（3次元有限要素法(ソリッド要素)による線形解析機能による応力解析）を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・本工事計画で行う解析と類似する三菱重工業株式会社が実施した配管ティー継手を対象とした3次元有限要素法（ソリッド要素）を用いた応力解析の事例がある。（PVP2012-78686:COMPARISON BETWEEN

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>PRESSURE TESTS AND SIMULATIONS FOR THICKNESS MANAGEMENT OF WALL THINNING T-JOINTS)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・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できる。 ・本工事計画において使用するバージョン（ver. 6.12-3）は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画における構造に対し使用する要素、3次元有限要素法（ソリッド要素）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。
--	--

2.3 ABAQUS ver. 6.14-1

項目	コード名 ABAQUS
使用目的	3次元有限要素法（シェル要素）による応力解析 はりモデルによる固有値解析及び地震応答解析 3次元有限要素法（はり要素，シェル要素）による固有値解析
開発機関	ダッソー・システムズ社（旧 HKS 社）
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ社）
使用したバージョン	ver. 6.14-1
コードの概要	<p>ABAQUS（以下「本解析コード」という。）は，米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され，ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素，連続体要素について取り扱うことが可能であり，静的応力解析，動的応力解析，熱応力解析，伝熱解析，座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり，境界条件として，熱流束，温度，加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる地震応答計算結果と振動試験結果を比較して，検証*を実施し，本解析コードが検証されたものであることを確認している。 ・使用する適用要素（はり要素，シェル要素）について，解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・使用する解析モデルは、既工事計画及び耐震評価にて実績のある関連規格並びに文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（シェル要素）による応力解析、はりモデルによる固有値解析及び地震応答解析並びに3次元有限要素法（はり要素、シェル要素）による固有値解析に、本解析コードが適用できることを確認している。
--	--

注記*：独立行政法人 原子力安全基盤機構「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書」

2.4 ABAQUS ver. 2017

項目	コード名 ABAQUS
使用目的	3次元有限要素法（シェル要素）による応力解析
開発機関	ダッソー・システムズ社（旧 HKS 社）
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ社）
使用したバージョン	ver. 2017
コードの概要	<p>ABAQUS（以下「本解析コード」という。）は、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され、ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素、連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析、座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用する適用要素（シェル要素）について、解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・使用する解析モデルは、既工事計画及び耐震評価にて実績のある関連規格並びに文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">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3次元有限要素法（シェル要素）による応力解析に、本解析コードが適用できることを確認している。
--	--

2.5 ABAQUS ver. 2016, ver. 2018

項目	コード名 ABAQUS
使用目的	3次元有限要素法（積層シェル要素）弾塑性応力解析及び伝熱解析
開発機関	ダッソー・システムズ社（旧 HKS 社）
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ社）
使用したバージョン	ver. 2016, ver. 2018
コードの概要	<p>ABAQUS（以下「本解析コード」という。）は、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され、ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素、連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析、座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・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3次元有限要素法（シェル要素）による応力解析及び伝熱解析に、本解析コードが適用できることを確認している。 ・鉄筋コンクリート造平板の実験結果のシミュレーション解析から、本解析コードが実験結果をよくシミュレートできることを確認し

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>ている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・半無限固体の表面温度が上昇するときの固体中の温度解析から、本解析コードが理論解と良く一致していることを確認している。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0021_改0
提出年月日	2021年1月26日

VI-5-14 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FDT^s

2021年1月

東北電力株式会社

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）FDT[®]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
VI-1-1-7	発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書	1805.1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FDT ^s
使用目的	高温ガス層温度，火炎高さ，輻射影響範囲，プルーム影響範囲の算出
開発機関	米国 NRC
開発時期	2004 年
使用したバージョン	1805.1
コードの概要	<p>Fire Dynamics Tools (FDT^s) (以下「本解析コード」という。) は，米国 NRC (原子力規制委員会) によって開発された，フリーソフトウェアとして公開されている火災力学ツールであり，火災力学の理論式が表計算ソフト (Excel) に組み込まれたものである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる算出結果は，米国 NRC により，室内火災の実験結果との比較により，実証 (NUREG-1824*¹) されており，また，火災実証試験の結果と本解析コードにより簡易に算出された高温ガス温度を比較し再現されていることを確認している。 ・本解析コードの使用に当たって，ダウンロードした際に不具合が発生していないことを確認するため，ダウンロードする計算機ごとに，NUREG-1805 Supplement1, Vol. 1 及び Vol. 2 に示される Example Problem の入力パラメータを本解析コード (表計算ソフト) に入力し，評価結果が Example Problem と一致することを確認している。 ・本解析コードは理論式が表計算ソフト (Excel) に組み込まれたツールであり，表計算ソフトの計算シートは，あらかじめ入力指定されているセル以外のセルの変更ができないよう，パスワードにより保護されている。 ・なお，本解析コードは，表計算ソフトが使用可能なすべての計算機で解析可能であり，開発機関が開発時に使用したバージョン以上の表計算ソフトをインストールした計算機にて解析を実施している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「原子力発電所の内部火災影響評価ガイド」 (以下「ガイド」という。) では，火炎の高さ，プルーム，輻射及び高温ガス層の各影響範囲 (ZOI) の算出に本解析コードを使用することが明記されており，本解析コードの適用に当たっては，NUREG-1805*²における火炎の高

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>さ、プルーム、輻射及び高温ガス層の火災影響ごとに記載される使用上の考慮(Assumptions and Limitations)や、潤滑油等の漏えい火災の燃焼面積の算出方法等のガイドに記載されている評価手順を参照して、適切なパラメータの入力を実施することで、火炎の高さ、プルーム、輻射及び高温ガス層の ZOI を算出していることから、本工事計画の解析に適用することは妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる算出結果は、米国 NRC によって室内火災の実験試験との比較により、妥当性が実証(NUREG-1824)されており、また、火災実証試験の結果と本解析コードにより簡易に算出された高温ガス温度を比較し再現されていることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画における構造に対し使用する要素、火炎の高さ、プルーム、輻射及び高温ガス層の ZOI の算出の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が NUREG-1805 の範囲内であることを確認している。
--	---

注記*1 : NUREG-1824 : Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications

*2 : NUREG-1805 : Fire Dynamics Tools (FDT^s)

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0022_改0
提出年月日	2021年1月14日

VI-5-15 計算機プログラム（解析コード）の概要
・DORT

2021年1月

東北電力株式会社

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）DORT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
VI-1-2-2	原子炉圧力容器の脆性破壊防止に関する説明書	DOORS3.2a

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	DORT
使用目的	原子炉压力容器における中性子の放射線束分布解析
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1988 年
使用したバージョン	DOORS3. 2a
コードの概要	<p>DORT (以下「本解析コード」という。) は、中性子及びガンマ線の物質中の挙動を評価することを目的として、2 次元多群輸送方程式を離散座標 Sn 法で解く数値計算により米国オークリッジ国立研究所で開発された計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードの計算モデルは、2 次元形状 (平板 (X-Y 体系), 円柱 (R-Z 体系, R-θ 体系)) であり、中性子及びガンマ線の輸送問題等を解くことができる。また、計算モデル内での中性子及びガンマ線の線束が計算され、線量率換算係数又はカーマ係数を乗じることにより、線量率又は発熱量を算出することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2 次元輸送計算コード DORT と JENDL-3.3 の組合せによる計算値については、JNDC (Japanese Nuclear Data Committee) においてベンチマーク実験との比較検証*が実施されており、鉄、クロム、ナトリウム等の透過放射線測定において、計算値が実験値と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、原子力施設の遮蔽計算に広く用いられており、通常運転時の原子炉周り遮蔽計算等の豊富な実績がある。 ・本解析コードは、中性子及びガンマ線の放射線束、線量率及び発熱量を算出することができるコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、幾何形状条件である。これら評価条件が与えられれば評価が可能であり、本解析コードは原子炉压力容器における中性子の放射線束分布解析に適用可能であることを確認している。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	・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。
---	---

注記* : Yamano N. et al., Integral Test of JENDL-3.3 with Shielding Benchmarks, J. Nucl. Sci. Technol., Supplement2, p. 841-846 (Aug. 2002)

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0023_改0
提出年月日	2021年1月19日

VI-5-16 計算機プログラム（解析コード）の概要
・SCALE

2021年1月

東北電力株式会社

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）SCALE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
VI-1-3-2	燃料取扱設備，新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	6.1 KENO V. a

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SCALE
使用目的	使用済燃料貯蔵設備の未臨界性評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	2011 年
使用したバージョン	6.1 KENO V.a
コードの概要	<p>SCALE (以下「本解析コード」という。) は、核燃料物質、構造材等の幾何形状等を入力とし、中性子の飛程を乱数を使用して確率的に計算し、各中性子が吸収されて消滅するか、体系外に漏れるまでの反応過程で発生する核分裂中性子数を計算し、これらの比から実効増倍率を求めるものである。このため、計算体系が3次元の複雑な形状でも精度の高い計算ができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードに付属のサンプル入力ファイルを用いて計算を実行し、計算結果があらかじめ用意された参照解を再現することを確認した。 ・本解析コードをインストールする計算機の環境が、指定の要件を満たしていることを確認した。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>OECD/NEA によりまとめられた臨界実験ベンチマーク集(「INTERNATIONAL HANDBOOK OF EVALUATED CRITICALITY SAFETY BENCHMARK EXPERIMENTS」September 2012 Edition(OECD/NEA)) に登録されている臨界実験から選定した 103 ケースのベンチマーク解析 (以下、「ベンチマーク解析」という。) を本解析コード開発元の ORNL が実施している。このベンチマーク解析において、計算精度を検証し、解析解と理論解が一致していることが確認されている。</p> <p>具体的には、本解析コードを用いて算出された上記 103 ケースの実効増倍率を統計処理することで、平均誤差、σ 95-95 等を得た。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平均誤差：実験値と計算値の平均的なずれ ・σ 95-95：95%信頼度-95%確率の計算の不確かさ

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>OECD/NEA の臨界実験ベンチマーク集の中から、ベンチマーク解析の対象として選定した実験結果は、国内 BWR の燃料貯蔵設備と同様に、中性子吸収材、板厚、水ギャップ幅、燃料対減速材比及び燃料濃縮度等、臨界解析で重要と考えられる要因に関し、数種類の異なる体系で実施されている。また、臨界実験に用いられた燃料仕様は、金属キャスクや燃料ラックの臨界評価に用いている燃料仕様と同程度であり、ベンチマーク試験として妥当と考えられる。</p>
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0024_改0
提出年月日	2021年1月19日

VI-5-17 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ORIGEN2

2021年1月

東北電力株式会社

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 ORIGEN2 ver. 82/86	3
2.2 ORIGEN2 ver. 2.2	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）ORIGEN2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
VI-1-3-4	使用済燃料貯蔵槽の冷却能力に関する説明書	ver. 82/86
VI-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	ver. 82/86
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	ver. 2. 2
VI-1-8-1	原子炉格納施設の設計条件に関する説明書	ver. 2. 2
VI-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	ver. 2. 2

2. 解析コードの概要

2.1 ORIGEN2 ver. 82/86

項目 \ コード名	ORIGEN2
使用目的	使用済燃料の崩壊熱評価，使用済燃料及び使用済制御棒の線源強度の評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1980 年
使用したバージョン	ver. 82/86
コードの概要	<p>ORIGEN2 (以下「本解析コード」という。) は，使用済燃料等の核種生成量，崩壊熱量並びに中性子及びガンマ線の線源強度を評価するために ORNL で開発され公開された燃焼計算コードであり，原子力発電所施設，再処理施設，廃棄物処理施設等幅広く設計に利用されている。</p> <p>また，本解析コードは，断面積ライブラリを内蔵している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ 本解析コードは，燃焼計算によって得られた核種生成量から炉心内蔵量等を評価するコードであり，計算に必要な主な条件は組成，照射条件，核データライブラリである。 <p>これら評価条件が与えられれば評価は可能であり，本解析コードは使用目的に記載する評価に適用可能である。</p> <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 米国原子力学会 (ANS) の Nuclear Technology vol.62 (1983 年 9 月) の「ORIGEN2 : A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristic of Nuclear Materials」において，ANS 標準崩壊熱との比較及び使用済燃料中のウラン，プルトニウム，アメリシウム等の組成の実測値との比較により妥当性の確認を行っている。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・「原子炉崩壊熱とその推奨値」((社)日本原子力学会, 1989/8)において, 崩壊熱の測定値との比較により妥当性の確認を行っている。・本工事計画の使用目的に記載する評価は上記妥当性確認内容と合致しており, 本解析コードの使用は妥当である。・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。
--	---

2.2 ORIGEN2 ver. 2.2

<p>項目</p>	<p>コード名 ORIGEN2</p>
<p>使用目的</p>	<p>中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価 格納容器ベント実施に伴う現場作業の被ばく評価</p>
<p>開発機関</p>	<p>米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)</p>
<p>開発時期</p>	<p>1980 年</p>
<p>使用したバージョン</p>	<p>ver. 2.2</p>
<p>コードの概要</p>	<p>ORIGEN2 (以下「本解析コード」という。)は、使用済燃料等の核種生成量、崩壊熱量並びに中性子及びガンマ線の線源強度を評価するために ORNL で開発され公開された燃焼計算コードであり、原子力発電所施設、再処理施設、廃棄物処理施設等幅広く設計に利用されている。</p> <p>また、国内の最新の使用済燃料についての評価精度向上を目指し、日本原子力研究所シグマ委員会核種生成量評価ワーキンググループにおいて JENDL 核データセットに基づく ORIGEN2 用ライブラリが作成され、公開されている。</p>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機能が適正であることは、コード配布時に同梱されたサンプル問題の再現により確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ 本解析コードは、燃焼計算によって得られた核種生成量から炉心内蔵量等を評価するコードであり、計算に必要な主な条件は組成、照射条件、核データライブラリである。 <p>これら評価条件が与えられれば評価は可能であり、本解析コードは使用目的に記載する評価に適用可能である。</p> <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 米国原子力学会 (ANS) の Nuclear Technology vol.62 (1983 年 9 月) の「ORIGEN2 : A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristic of Nuclear Materials」において、ANS 標準崩壊熱との比較及び使用済燃料中のウラン、プルトニウム、アメリシウム等の組成の実測値との比較により妥当性の確認を行っている。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力研究所シグマ委員会にて開発された ORLIBJ ライブラリについては、「JENDL-3.3 に基づく ORIGEN2 用ライブラリ:ORLIBJ33」JAERI-Data/Code 2004-015(2004年11月)等において、核種生成量について照射後試験結果と、本解析コードによる計算値を比較することで妥当性の確認を行っている。 ・本工事計画の使用目的に記載する評価は上記妥当性確認内容と合致しており、本解析コードの使用は妥当である。 ・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。
--	---

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0025_改0
提出年月日	2021年1月19日

VI-5-18 計算機プログラム（解析コード）の概要
・QAD-CGGP2R

2021年1月

東北電力株式会社

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）QAD-CGGP2R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
VI-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	1.04
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	1.04
VI-1-8-1	原子炉格納施設的设计条件に関する説明書	1.04
VI-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	1.04

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	QAD-CGGP2R
使用目的	使用済燃料プール水深の遮蔽計算 中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価 格納容器ベント実施に伴う現場作業の被ばく評価
開発機関	日本原子力研究開発機構（(財) 高度情報科学研究機構）
開発時期	2001 年（初版開発時期 1967 年）
使用したバージョン	1. 04
コードの概要	<p>QAD-CGGP2R（以下「本解析コード」という。）は、米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線の物質透過を計算するための点減衰核積分コード QAD をベースとし、旧日本原子力研究所が ICRP1990 年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて、実効線量を計算できるように改良した最新バージョンである。</p> <p>本解析コードは、線源を直方体、円筒、球の形状に構成でき、任意の遮蔽体で構成される体系のガンマ線実効線量率を計算する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ 本解析コードは、線量率評価を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮蔽体条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり、使用目的に記載する評価に適用可能である。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ JRR-4 散乱実験室でのコンクリート透過実験の実験値（「原子力第 1 船遮蔽効果確認実験報告書」JNS-4（日本原子力船開発事業団、1967））と計算値を比較した。実験孔からのガンマ線を遮蔽体に入射させ、遮蔽体透過後のガンマ線の線量率の実験値と本解析コードによる計算値を比較している。 ・ 実験値と計算値を比較した結果、おおむね一致していることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上記妥当性確認では、実験孔からのガンマ線を遮蔽体に入射させ、遮蔽体透過後のガンマ線の線量率の実験値と本解析コードによる計算値を比較している。 ・ 本工事計画の使用済燃料プール水深の遮蔽計算は、上記妥当性確認における実験体系と同様に、ガンマ線の遮蔽体透過後の線量率を計算する。 ・ 本工事計画の使用済燃料プール水深の遮蔽計算は、上記妥当性確認内容と合致している。 ・ また、原子力発電所放射線遮蔽設計規程（J E A C 4 6 1 5 - 2020）（日本電気協会 原子力規格委員会 令和2年3月）では、事故時の中央制御室遮蔽のための点減衰核積分コードとして、QAD が挙げられている。 ・ 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。
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0026_改0
提出年月日	2021年2月16日

VI-5-19 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ANISN

2021年2月

東北電力株式会社

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）ANISN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
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	ANISN-W
VI-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	ANISN-W

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ANISN
使用目的	中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1970 年 (初版開発時期 1967 年)
使用したバージョン	ANISN-W
コードの概要	ANISN (以下「本解析コード」という。) は、米国オークリッジ国立研究所で開発された、1 次元多群輸送方程式を離散座標 Sn 法で解く計算機プログラムである。本解析コードの計算形状は、1 次元形状 (球、無限平板、無限円筒) であり、中性子及びガンマ線の輸送問題等を解くことができる。本解析コードでは、計算形状内での中性子及びガンマ線の線束が計算され、線量率換算係数又はカーマ係数を乗じることにより、線量率又は発熱量を算出することができる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ 本解析コードは、線量率評価を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、幾何形状条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり、使用目的に記載する評価に適用可能である。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ スカイシャインガンマ線について、固体廃棄物貯蔵所を線源とした線量評価が、本解析コードと G33 コードの結合計算法によって実施されている。 ・ この固体廃棄物貯蔵所での測定値と計算値の比較の詳細が、原子力施設散乱放射線挙動専門委員会の成果報告会 (昭和 54 年 9 月、財団法人 原子力安全研究協会) * に示されている。 ・ 測定値と計算値を比較した結果、おおむね一致していることを確認している。 ・ 本工事計画の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価は、上記妥当性確認内容と合致している。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	・また、原子力発電所放射線遮蔽設計規程（J E A C 4 6 1 5 - 2020） （日本電気協会 原子力規格委員会 令和2年3月）では、事故時の 中央制御室遮蔽のための輸送計算コードとして、本解析コードが挙 げられている。
---	---

注記*：「ガンマ線スカイシャインの線量評価に関する研究」成果報告会・予稿集（昭和54年9月
 財団法人 原子力安全研究協会）

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0027_改0
提出年月日	2021年2月16日

VI-5-20 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ G33-GP2R

2021年2月

東北電力株式会社

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）G33-GP2R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
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	1.00
VI-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	1.00

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	G33-GP2R
使用目的	中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価
開発機関	日本原子力研究開発機構（(財) 高度情報科学研究機構）
開発時期	2001 年（初版開発時期 1964 年）
使用したバージョン	1.00
コードの概要	<p>G33-GP2R（以下「本解析コード」という。）は、Los Alamos Scientific Laboratory で開発されたガンマ線多群散乱計算プログラム G33 をベースとし、旧日本原子力研究所が ICRP1990 年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて、実効線量を計算できるように改良した最新バージョンである。</p> <p>本解析コードは、点等方線源からの一回散乱を計算する。散乱は、クライナー仁科の式に基づき計算する。散乱が起こる領域は直角，球，円筒座標により指定し，遮蔽体は平板，球，円筒又は二次曲面により入力することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ 本解析コードは，線量率評価を実施するコードであり，計算に必要な主な条件は線源条件，幾何形状条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり，使用目的に記載する評価に適用可能である。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ スカイシャインガンマ線について，米国 Radiation Research Associates (RRA) が 1977 年に米国カンザス州立大学において ⁶⁰Co 線源を用いたベンチマーク試験を実施している。 ・ この RRA での実験値と計算値を比較した詳細が，ガンマ線遮蔽設計ハンドブック（1988 年 1 月，社団法人 日本原子力学会）に示されている。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・その結果は、天井遮蔽がないケースでは計算値は実験値とよい一致を示しているが、天井遮蔽があるケースでは、計算値は実験値について過小評価の傾向がある。 ・この原因は、本解析コードが天井透過中の散乱成分を考慮していないためであり、この成分を考慮するため、天井遮蔽までをANISNで計算することを推奨している。本工事計画の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価では、この計算手法を採用している。 ・本工事計画の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価は、上記妥当性確認内容と合致している。 ・また、原子力発電所放射線遮蔽設計規程（J E A C 4 6 1 5 - 2020）（日本電気協会 原子力規格委員会 令和2年3月）では、事故時の中央制御室遮蔽のための点減衰核積分コード／散乱線計算コードとして、QAD/G33が挙げられている。 ・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。
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0028_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-21 計算機プログラム（解析コード）の概要

- ・MAAP

2021年9月

東北電力株式会社

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）MAAP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
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	Ver. 4
VI-1-8-1	原子炉格納施設的设计条件に関する説明書	Ver. 4

2. 解析コードの概要

項目	コード名 MAAP
使用目的	シビアアクシデント解析 (シビアアクシデント時の原子炉格納容器フィルタベント系による水素排出性能解析及びソースターム解析)
開発機関	EPRI
開発時期	1983 年
使用したバージョン	Ver. 4
コードの概要	<p>MAAP (Modular Accident Analysis Program) コード (以下「本解析コード」という。) は、米国産業界が実施した IDCOR (Industry Degraded Core Rulemaking) プログラムにおいて、1980 年代の初めに米国 FAI 社 (Fauske & Associates, LLC.) によって開発されたコードであり、プログラムの完了に伴い、所有権が米国 EPRI (Electric Power Research Institute) に移管され、EPRI を中心とした MUG (MAAP User's Group) のもとで保守及び改良が進められている。本解析コードは、軽水炉のシビアアクシデント時の原子炉圧力容器、原子炉格納容器及び原子炉建屋内の熱水力/核分裂生成物 (FP) の放出・移行挙動を同時に一貫して解析することに特徴があり、PRA やシビアアクシデントマネジメントの策定等において、米国を始め、世界的に広く利用されている。</p> <p>本解析コードは、シビアアクシデントの事象進展の各段階を網羅し、炉心、原子炉圧力容器、原子炉格納容器内で起こると考えられる重要な事故時の物理現象をモデル化するとともに、工学的安全施設や炉心損傷防止対策あるいは格納容器破損防止対策で想定する各種の機器についてのモデルを備えている。また、FP に関する物理現象をモデル化しており、事故時に炉心溶融に伴って原子炉圧力容器や原子炉格納容器内に放出される FP の挙動についても取り扱うことが可能である。このように、広範囲の物理現象を取り扱うことが可能な総合解析コードであり、シビアアクシデントで想定される種々の事故シーケンスについて、起因事象から安定した状態、あるいは過圧・過温により原子炉格納容器健全性が失われる状態まで計算が可能であることが特徴である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、シビアアクシデントを評価するための総合システム解析コンピュータ・コードであり、原子炉圧力容器、再循環ポンプ等を含む原子炉冷却材圧力バウンダリ全体及び原子炉格納容器における水、水蒸気、水素、FP、溶融炉心等の挙動の評価並びに原子炉格納容器フィルタベント系による水素排出評価に使用している。</p>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 米国プラントの SBO 事象に関するユーザーズマニュアルの例題を実施して、解析解が開発元の結果を再現していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 炉心損傷事象に関する国際的な標準問題である TMI 事故を模擬した解析結果が事故データと比較し、おおむね一致するため、シビアアクシデント時の炉内の挙動や運転員操作を含む現象モデル全般が妥当であることを確認している。 ・ HDR 炉における実機スケール水素混合実験に対する実機解析を実施し、実機データとおおむね一致するため、原子炉格納容器内の伝熱、流動（水素ガス挙動を含む。）に関する現象モデルが妥当であることを確認している。 ・ 熔融燃料あるいは融体金属とコンクリートの相互作用に関する ACE 実験及び SURC 実験を模擬した実験解析を実施し、熔融炉心の温度とコンクリート侵食深さの時間変化について、実験データとおおむね一致している結果が得られることを確認している。 ・ シビアアクシデント時の全体挙動、原子炉格納容器内の水素ガスの挙動、熔融炉心とコンクリートの相互作用による水素発生 of 妥当性を確認しているため、本解析コードは水素濃度評価へ適用できる。 ・ 米国 NRC で整備された NUREG-1465 における原子炉格納容器内ソースタームと本解析コードにおける解析結果の比較を行い、NUREG-1465 のソースタームとほぼ同等であることを確認しているため、本解析コードはソースターム評価へ適用できる。
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0029_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-22 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ANSYS

2021年9月

東北電力株式会社

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 ANSYS ver. 11.0, ver. 15.0.....	3
2.2 ANSYS ver. 13.0.....	5
2.3 ANSYS ver. 14.0.....	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）ANSYS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
VI-1-8-1	原子炉格納施設的设计条件に関する説明書	ver. 15.0
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	ver. 13.0, ver. 14.0
VI-2-4-2-4	使用済燃料プール水位/温度（ガイドパルス式）の耐震性についての計算書	ver. 11.0
VI-2-9-2-1-4	ドライウェルベント開口部の耐震性についての計算書	ver. 15.0
VI-2-9-4-1	ダウンカマの耐震性についての計算書	ver. 15.0
VI-2-9-4-2	ベント管の耐震性についての計算書	ver. 15.0
VI-3-3-6-1-1-4	ドライウェルベント開口部の強度計算書	ver. 15.0
VI-3-3-6-2-2	ダウンカマの強度計算書	ver. 15.0
VI-3-3-6-2-3	ベントヘッドの強度計算書	ver. 15.0
VI-3-3-6-2-5	ベント管の強度計算書	ver. 15.0

2. 解析コードの概要

2.1 ANSYS ver. 11.0, ver. 15.0

項目		コード名	ANSYS
使用目的	ver. 11.0	3次元有限要素法（シェル要素，ソリッド要素）による固有値解析，応力解析	
	ver. 15.0	3次元有限要素法（ソリッド要素）による弾塑性解析	
開発機関		ANSYS Inc.	
開発時期		1970年	
使用したバージョン		ver. 11.0, ver. 15.0	
コードの概要		<p>ANSYS（以下「本解析コード」という。）は，スワンソン・アナリシス・システムズ（現，ANSYS Inc.）により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは，広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは，伝熱，構造，マルチフィジックス，流体，陽解法による動的，電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは，ISO9001及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され，アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50並びに10CFR21の要求を満たしており，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>	
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)		<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの検証は，開発元のリリースノートの例題集において，多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較が実施されており，理論解と解析解が一致していることを確認している。 ・本解析コードが適正であることは，コード配布時に同梱されたANSYS Mechanical APDL Verification Testing Packageにより確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発元から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p>	

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。・本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置（変更）許可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績があることを確認している。
--	---

2.2 ANSYS ver. 13.0

コード名 項目	ANSYS
使用目的	有限要素法による下部端栓溶接部応力評価
開発機関	ANSYS Inc.
開発時期	1970 年
使用したバージョン	ver. 13.0
コードの概要	<p>ANSYS (以下「本解析コード」という。) は、スワンソン・アナリシス・システムズ (現, ANSYS Inc.) により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは、広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは、伝熱、構造、マルチフィジックス、流体、陽解法による動的、電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは、ISO9001 及び ASME NQA-1 の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され、アメリカ合衆国原子力規制委員会による 10CFR50 並びに 10CFR21 の要求を満たしており、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、開発元のリリースノートの例題集において、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により両者が一致することで検証されている。 ・本解析コードの運用環境について、開発元から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置 (変更) 許可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績があり、9×9 燃料 (B 型) の原子炉設置 (変更) 許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績があることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>・本解析コードは、バージョンアップ前後の比較により、燃料被覆管下部端栓溶接部の応力解析において既許認可の結果が再現することを確認している。</p>
--	--

2.3 ANSYS ver. 14.0

<p>項目 \ コード名</p>	<p>ANSYS</p>
<p>使用目的</p>	<p>有限要素法による下部端栓溶接部応力評価</p>
<p>開発機関</p>	<p>ANSYS Inc.</p>
<p>開発時期</p>	<p>1970 年</p>
<p>使用したバージョン</p>	<p>ver. 14.0</p>
<p>コードの概要</p>	<p>ANSYS (以下「本解析コード」という。) は、スワンソン・アナリシス・システムズ (現, ANSYS Inc.) により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは、広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは、伝熱、構造、マルチフィジックス、流体、陽解法による動的、電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは、ISO9001 及び ASME NQA-1 の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され、アメリカ合衆国原子力規制委員会による 10CFR50 並びに 10CFR21 の要求を満たしており、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、開発元のリリースノートの例題集において、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により両者が一致することで検証されている。 ・本コード配布時に同梱された ANSYS Mechanical APDL Verification Testing Package を入力とした解析により、上記例題集の検証を再現できることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発元から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置 (変更) 許可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績があり、

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>9×9 燃料 (B 型) の原子炉設置 (変更) 許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績があることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは既認可の下部端栓溶接部応力解析において使用実績のある MARC と同等な解析条件 (有限要素モデル, ペレットやジルカロイ被覆管の物性値, 荷重条件及び境界モデル) を設定可能なこと, MARC と本解析コードとで同等な解析結果となることを確認している。
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0030_改0
提出年月日	2021年1月28日

VI-5-23 計算機プログラム（解析コード）の概要
・GOTHIC

2021年1月

東北電力株式会社

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）GOTHIC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
VI-1-8-2	原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書	Ver. 7. 2a

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	GOTHIC
使用目的	シビアアクシデント解析 (シビアアクシデント時の原子炉建屋原子炉棟における水素分布評価及び水素濃度抑制系による水素濃度低減性能解析)
開発機関	Numerical Applications Inc. (現 Zachry Nuclear Engineering) (販売元は EPRI)
開発時期	1989 年
使用したバージョン	Ver. 7. 2a
コードの概要	<p>GOTHIC (以下「本解析コード」という。) は, Electric Power Research Institute により開発された汎用熱流体解析コードである。本解析コードは, 気相, 液体連続相及び液体分散相(液滴)の 3 相について, 各々, 質量, 運動量及びエネルギーの 3 保存式を解く, 完全 3 流体 (9 保存式) 解析コードである。</p> <p>各相間の質量, 運動量及びエネルギーの移動は, 構成式で表され, これにより, 凝縮・沸騰現象や, 凝縮した液体によって随伴される気相の流れ等, 複雑な混相流現象を模擬することができる。また, ファン・水素再結合装置等の機器モデルが組み込まれており, これらの機器の作動及び制御を模擬できる。</p> <p>このような基本構成により, 原子炉建物内における気液混相の熱流動を取り扱うことができる。本解析コードは, 主に米国において設計基準事故を想定した原子炉格納容器の設計や環境条件, シビアアクシデント時の水素分布解析等に豊富な使用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コードのサンプル問題を実行し, ユーザーマニュアルに示される同一問題の結果と比較を行い, 解析解がそれを再現していることを確認している。 ・1次元熱伝導の理論解に対する解析解が再現していることを確認している。 ・本解析コードの適用制限について, 蒸気表・各種相関式・物性範囲及び数値計算手法上の制約に対し問題ないことを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は, 以下のとおりである。</p>

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<ul style="list-style-type: none"> • 実機プラントに対する上記の目的に対しては、検証内容が事故時の状況、機器設備の作動状況、物理現象の模擬等に対し適用可能な範囲にあることを確認している。 • 静的触媒式水素再結合装置動作時に見られる重要な物理現象の個別効果及びそれらを重ね合わせた総合効果の再現性を確認している。 • NUPEC 試験等、実機解析の再現能力、適用範囲と不確かさを考慮したうえで、上記目的に対する保守性を有している。
---	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0031_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-24 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ ISAP

2021年9月

東北電力株式会社

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.....	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）ISAP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
VI-1-1-8-3	溢水評価条件の設定	ISAP-IV
VI-2-1-12-1	配管及び支持構造物の耐震計算について	ISAP-IV
VI-2-4-3-1-3	管の耐震性についての計算書（燃料プール冷却浄化系）	ISAP-IV
VI-2-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（燃料プール代替注水系）	ISAP-IV
VI-2-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（燃料プールスプレイ系）	ISAP-IV
VI-2-5-2-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉再循環系）	ISAP-IV
VI-2-5-3-1-2	管の耐震性についての計算書（主蒸気系）	ISAP-IV
VI-2-5-3-2-1	管の耐震性についての計算書（復水給水系）	ISAP-IV
VI-2-5-4-1-4	管の耐震性についての計算書（残留熱除去系）	ISAP-IV
VI-2-5-4-1-5	ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）	ISAP-IV
VI-2-5-4-2-1	管の耐震性についての計算書（耐圧強化ベント系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-1-3	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-1-4	ストレーナ部ティーの耐震計算書（高圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-2-3	管の耐震性についての計算書（低圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-2-4	ストレーナ部ティーの耐震計算書（低圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-3-2	管の耐震性についての計算書（高圧代替注水系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-4-2	管の耐震性についての計算書（低圧代替注水系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-5-1	管の耐震性についての計算書（代替水源移送系）	ISAP-IV
VI-2-5-6-1-3	管の耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）	ISAP-IV
VI-2-5-6-2-3	管の耐震性についての計算書（補給水系）	ISAP-IV
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	ISAP-IV
VI-2-5-7-2-5	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	ISAP-IV
VI-2-5-7-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉補機代替冷却水系）	ISAP-IV
VI-2-5-8-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉冷却材浄化系）	ISAP-IV
VI-2-6-4-1-3	管の耐震性についての計算書（ほう酸水注入系）	ISAP-IV
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書（高圧窒素ガス供給系）	ISAP-IV

使用添付書類		バージョン
VI-2-6-6-2-1	管の耐震性についての計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	ISAP-IV
VI-2-7-3-1-1	管の耐震性についての計算書（放射性ドレン移送系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-3-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器スプレイ冷却系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器下部注水系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器代替スプレイ冷却系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-3-4-2	管の耐震性についての計算書（代替循環冷却系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-4-1-2	管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-4-2-1	管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-4-4-1	管の耐震性についての計算書（可搬型窒素ガス供給系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-5-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-6-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）	ISAP-IV
VI-2-10-1-2-3-5	ガスタービン発電設備 管の耐震性についての計算書	ISAP-IV
VI-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	ISAP-IV
VI-3-3-2-2-1-4-2	管の応力計算書（燃料プール冷却浄化系）	ISAP-IV
VI-3-3-2-2-2-2-2	管の応力計算書（燃料プール代替注水系）	ISAP-IV
VI-3-3-2-2-3-1-2	管の応力計算書（燃料プールスプレイ系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-1-1-1-2	管の応力計算書（原子炉再循環系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-2-1-3-2	管の応力計算書（主蒸気系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-2-2-1-2	管の応力計算書（復水給水系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-3-1-5-2	管の応力計算書（残留熱除去系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-3-1-5-3	ストレーナ部ティーの強度計算書（残留熱除去系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-3-2-1-2	管の応力計算書（耐圧強化ベント系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-1-4-2	管の応力計算書（高圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-1-4-3	ストレーナ部ティーの強度計算書（高圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV

使用添付書類		バージョン
VI-3-3-3-4-2-3-2	管の応力計算書 (低圧炉心スプレイ系)	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-2-3-3	ストレーナ部ティーの強度計算書 (低圧炉心スプレイ系)	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-3-3-2	管の応力計算書 (高圧代替注水系)	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-5-2-2	管の応力計算書 (低圧代替注水系)	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-6-1-2	管の応力計算書 (代替水源移送系)	ISAP-IV
VI-3-3-3-5-1-3-2	管の応力計算書 (原子炉隔離時冷却系)	ISAP-IV
VI-3-3-3-5-2-3-2	管の応力計算書 (補給水系)	ISAP-IV
VI-3-3-3-6-1-6-2	管の応力計算書 (原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系)	ISAP-IV
VI-3-3-3-6-2-5-2	管の応力計算書 (高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系)	ISAP-IV
VI-3-3-3-6-3-4-2	管の応力計算書 (原子炉補機代替冷却水系)	ISAP-IV
VI-3-3-3-7-1-1-2	管の応力計算書 (原子炉冷却材浄化系)	ISAP-IV
VI-3-3-4-2-1-3-2	管の応力計算書 (ほう酸水注入系)	ISAP-IV
VI-3-3-4-3-1-2-2	管の応力計算書 (高圧窒素ガス供給系)	ISAP-IV
VI-3-3-4-3-2-1-2	管の応力計算書 (代替高圧窒素ガス供給系)	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-7-2-1-2	管の応力計算書 (原子炉格納容器下部注水系)	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-7-3-1-2	管の応力計算書 (原子炉格納容器代替スプレイ冷却系)	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-7-4-2-2	管の応力計算書 (代替循環冷却系)	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-8-1-2-2	管の応力計算書 (非常用ガス処理系)	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-8-3-1-2	管の応力計算書 (可搬型窒素ガス供給系)	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-9-1-2-2	管の応力計算書 (原子炉格納容器調気系)	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-10-1-3-2	管の応力計算書 (原子炉格納容器フィルタベント系)	ISAP-IV

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ISAP
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1988年
使用したバージョン	ISAP-IV
コードの概要	<p>ISAP（以下「本解析コード」という。）は，米国カリフォルニア大学が開発した SAP-IVをベースに南カリフォルニア大学が一部機能を追加し開発された SAP-Vを基につくられている。ISAP は，配管系の構造解析に用いることを目的として，株式会社 IHI にて SAP-Vの中の配管要素及び拘束要素に特化した計算機プログラムである。</p> <p>任意の3次元形状に対して，有限要素法により静的解析・動的解析を行い，反力・モーメント・応力・固有周期・刺激係数等の算出に用いる。</p> <p>本解析コードは，原子力分野の配管設計において，多くの実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード“ADL Pipe Static-Thermal-Dynamic Pipe Stress Analysis” (Arthur D. Little. Inc., Cambridge, Massachusetts, January 1971) による解析結果を比較し，結果が合致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，原子力分野の配管設計において多くの実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・本解析コードのマニュアルにより，本工事計画で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析に，本解析コードが適用できることを確認している。 ・本工事計画で使用する要素及び解析方法は，既工事計画において使用された実績がある。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0032_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-25 計算機プログラム（解析コード）の概要

・NX NASTRAN

2021年9月

東北電力株式会社

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）NX 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
VI-2-1-12-1	配管及び支持構造物の耐震計算について	ver. 5mp1
VI-2-4-2-5	使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-5-3-1-2	管の耐震性についての計算書（主蒸気系）	ver. 5mp1
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	ver. 5mp1
VI-2-5-7-2-5	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	ver. 5mp1
VI-2-6-3-2-2	管の耐震性についての計算書（制御棒駆動水圧系）	ver. 5mp1
VI-2-6-5-4-2-1	ドライウェル温度の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-4-2-3	サプレッションプール水温度の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-4-2-4	原子炉格納容器下部温度の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-4-4-1	格納容器内水素濃度（D/W）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-4-4-2	格納容器内水素濃度（S/C）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-8-2	原子炉格納容器下部水位の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-9-1	原子炉建屋内水素濃度の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書（高圧窒素ガス供給系）	ver. 5mp1
VI-2-6-6-2-1	管の耐震性についての計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	ver. 5mp1
VI-2-6-7-18	静的触媒式水素再結合装置動作監視装置の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-1-1-1	主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-1-2-1	格納容器内雰囲気放射線モニタ（D/W）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-1-2-2	格納容器内雰囲気放射線モニタ（S/C）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-1-3-2	フィルタ装置出口放射線モニタの耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-1-3-3	燃料取替エリア放射線モニタの耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-2-1-1	使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1

使用添付書類		バージョン
VI-2-8-2-2-1-2	使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の耐震性についての計算書	ver. 5mpl
VI-2-8-3-2-2	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所換気空調系）	ver. 5mpl
VI-2-8-3-4-1	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所加圧空気供給系）	ver. 5mpl
VI-2-10-1-2-1-6	非常用ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	ver. 5mpl
VI-2-10-1-2-2-6	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	ver. 5mpl
VI-2-10-1-2-3-5	ガスタービン発電設備 管の耐震性についての計算書	ver. 5mpl
VI-2-10-1-2-4-2	緊急時対策所ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	ver. 5mpl
VI-2-10-2-13-2	取水ピット水位計の耐震性についての計算書	ver. 5mpl
VI-2-11-2-12	耐火隔壁の耐震性についての計算書	ver. 5mpl
VI-2-別添 1-5	選択弁の耐震性についての計算書	ver. 5mpl
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	ver. 5mpl
VI-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	ver. 5mpl
VI-2-別添 2-5	タービン補機冷却海水系隔離システムの耐震性についての計算書	ver. 5mpl
VI-2-別添 3-4	可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備の耐震計算書	ver. 5mpl
VI-3-3-4-1-2-1-4-2	管の応力計算書（制御棒駆動水圧系）	ver. 5mpl
VI-3-別添 3-2-11-1	取水ピット水位計の強度計算書	ver. 5mpl

2. 解析コードの概要

項目	コード名 NX NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法による固有値解析及び静的解析
開発機関	Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
開発時期	1971年 (The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年 (Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.)
使用したバージョン	ver. 5mpl
コードの概要	<p>NX NASTRAN (以下「本解析コード」という。)は、航空機の機体強度解析を目的として The MacNeal-Schwendler Corporation により開発され、Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり、MSC NASTRAN と同じ機能を持つ。</p> <p>適用モデル (主にははり要素, シェル要素, ソリッド要素) に対して, 静的解析 (線形, 非線形), 動的解析 (過渡応答解析, 周波数応答解析), 固有値解析, 伝熱解析 (温度分布解析), 熱応力解析, 線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学及び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, 3次元有限要素法 (はり要素及びシェル要素) による固有値解析, 地震応答解析及び応力解析を行い, 解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・東京理科大学川井教授の行った二層ラーメン構造の実験及び解析結果並びに別プログラム SOLVER による解析結果と本解析コードによる解析結果とが同等であることを確認している。 ・固有値解析で作成した二層ラーメン構造の解析モデルを使用して自重及び水平 1G を考慮した静的解析を行い, 計算された部材応力と支点反力について別プログラム SOLVER による解析結果と本解析コードによる解析結果とが同等であることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について, 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究等の様々な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。 ・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3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析、地震応答解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・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、解析機能の妥当性を確認している。 ・東京理科大学川井教授の行った二層ラーメン構造の実験値と本解析コードによる解析結果とが同等であることを確認している（固有値解析）。 ・本工事計画で行う3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析及び応力解析の用途、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。
--	---

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0033_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-26 計算機プログラム（解析コード）の概要
・SAP-V

2021年9月

東北電力株式会社

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）SAP-V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
VI-2-1-12-1	配管及び支持構造物の耐震計算について	ADAMS-V
VI-2-4-3-1-3	管の耐震性についての計算書（燃料プール冷却浄化系）	ADAMS-V
VI-2-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（燃料プール代替注水系）	ADAMS-V
VI-2-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（燃料プールスプレイ系）	ADAMS-V
VI-2-5-2-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉再循環系）	ADAMS-V
VI-2-5-3-1-2	管の耐震性についての計算書（主蒸気系）	ADAMS-V
VI-2-5-3-2-1	管の耐震性についての計算書（復水給水系）	ADAMS-V
VI-2-5-4-1-4	管の耐震性についての計算書（残留熱除去系）	ADAMS-V
VI-2-5-4-2-1	管の耐震性についての計算書（耐圧強化ベント系）	ADAMS-V
VI-2-5-5-1-3	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系）	ADAMS-V
VI-2-5-5-2-3	管の耐震性についての計算書（低圧炉心スプレイ系）	ADAMS-V
VI-2-5-5-3-2	管の耐震性についての計算書（高圧代替注水系）	ADAMS-V
VI-2-5-5-4-2	管の耐震性についての計算書（低圧代替注水系）	ADAMS-V
VI-2-5-5-5-1	管の耐震性についての計算書（代替水源移送系）	ADAMS-V
VI-2-5-6-1-3	管の耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）	ADAMS-V
VI-2-5-6-2-3	管の耐震性についての計算書（補給水系）	ADAMS-V
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	ADAMS-V
VI-2-5-7-2-5	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	ADAMS-V
VI-2-5-7-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉補機代替冷却水系）	ADAMS-V
VI-2-5-8-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉冷却材浄化系）	ADAMS-V
VI-2-6-4-1-3	管の耐震性についての計算書（ほう酸水注入系）	ADAMS-V
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書（高圧窒素ガス供給系）	ADAMS-V
VI-2-6-6-2-1	管の耐震性についての計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	ADAMS-V
VI-2-7-3-1-1	管の耐震性についての計算書（放射性ドレン移送系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器下部注水系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器代替スプレイ冷却系）	ADAMS-V

使用添付書類		バージョン
VI-2-9-4-3-4-2	管の耐震性についての計算書（代替循環冷却系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-4-1-2	管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-4-2-1	管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-4-4-1	管の耐震性についての計算書（可搬型窒素ガス供給系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-5-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-6-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-6-1-3	遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算書	ADAMS-V
VI-2-9-4-6-1-4	遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震性についての計算書	ADAMS-V
VI-2-10-1-2-3-5	ガスタービン発電設備 管の耐震性についての計算書	ADAMS-V
VI-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	ADAMS-V

2. 解析コードの概要

項目	コード名 SAP-V
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1993 年
使用したバージョン	ADAMS-V
コードの概要	SAP-V（以下「本解析コード」という。）は，米国カリフォルニア大学が開発した SAP-IVをベースに南カリフォルニア大学が一部機能を追加し開発された SAP-Vに対して，株式会社 IHI が一部機能追加・拡張したバージョンである。任意の3次元形状に対して，有限要素法により静的解析を行い，反力，モーメント，応力等の算出が可能である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 汎用構造解析プログラムである「NX NASTRAN」を用いた計算結果及び理論式に基づく計算結果と，検証モデルの計算結果を比較し，検証モデルの結果が一致することを確認している。 本解析コードの適用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 本解析コードは，原子力分野の鋼構造設計において多くの実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 本解析コードのマニュアルにより，本工事計画で使用する3次元有限要素法（はり要素）による静的解析に，本解析コードが適用できることを確認している。 本工事計画で使用する要素及び解析方法は，既工事計画において使用された実績がある。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0034_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-27 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ SOLVER

2021年9月

東北電力株式会社

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）SOLVER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
VI-1-1-8-3	溢水評価条件の設定	Rev 02.05
VI-2-1-12-1	配管及び支持構造物の耐震計算について	Rev 02.05
VI-2-5-3-1-2	管の耐震性についての計算書（主蒸気系）	Rev 02.05
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	Rev 02.05
VI-2-5-7-2-5	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	Rev 02.05
VI-2-6-3-2-1	水圧制御ユニットの耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-6-3-2-2	管の耐震性についての計算書（制御棒駆動水圧系）	Rev 02.05
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書（高圧窒素ガス供給系）	Rev 02.05
VI-2-8-3-2-2	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所換気空調系）	Rev 02.05
VI-2-8-3-4-1	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所加圧空気供給系）	Rev 02.05
VI-2-10-1-2-1-6	非常用ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-10-1-2-2-6	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-10-1-2-3-5	ガスタービン発電設備 管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-10-1-2-4-2	緊急時対策所ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-10-2-13-2	取水ピット水位計の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-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	Rev 02.05
VI-3-3-4-1-2-1-4-2	管の応力計算書（制御棒駆動水圧系）	Rev 02.05
VI-3-3-4-3-1-2-2	管の応力計算書（高圧窒素ガス供給系）	Rev 02.05
VI-3-3-4-3-2-1-2	管の応力計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	Rev 02.05
VI-3-3-5-1-2-1-2	管の応力計算書（緊急時対策所換気空調系）	Rev 02.05
VI-3-3-5-1-4-2-2	管の応力計算書（緊急時対策所加圧空気供給系）	Rev 02.05

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SOLVER
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
開発機関	株式会社東芝
開発時期	1988年
使用したバージョン	Rev 02.05
コードの概要	<p>SOLVER（以下「本解析コード」という。）は，構造物の静的及び動的解析のメインプログラムであるSAPを基に作られている。SAPは，米カリフォルニア大学にて開発された計算機プログラムである。</p> <p>任意の3次元形状に対し，有限要素法により静的解析，動的解析を行い，反力・モーメント・応力，固有振動数・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>本解析コードは，原子力分野の配管設計において，多くの実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード“ADL Pipe Static-Thermal-Dynamic Pipe Stress Analysis”(Arthur D.Little.Inc., Cambridge, Massachusetts, January 1971)による解析結果を比較し，結果が合致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，他プラントの既工事計画において使用実績があることを確認している。 ・本工事計画で行うはりモデルの固有値解析，地震応答解析及び応力解析の使用目的に照らして，用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0035_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-28 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ ADMITHF

2021年2月

東北電力株式会社

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）ADMITHF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
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 2. 1, Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 2. 1, Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-3	制御建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-4	制御建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-21	緊急用電気品建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-23	緊急時対策建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-29	第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-30	第3号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-11-2-3	タービン建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-11-2-5	第1号機制御建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 3. 1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ADMITHF
使用目的	質点系地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばね算定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1982 年
使用したバージョン	Ver. 1. 2. 1, Ver. 1. 3. 1
コードの概要	<p>ADMITHF（以下「本解析コード」という。）は、振動アドミッタンス理論により、矩形基礎の水平動、鉛直動及び回転動に対する地盤の複素ばね剛性を半無限地盤に対する点加振解から、振動数領域で計算する計算機プログラムであり、地震応答解析モデル及び応力解析モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定に用いている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で多数の工事計画に使用されており、十分な使用実績があるため信頼性がある。 ・本解析コードによる解析結果と日本建築学会「入門・建物と地盤との動的相互作用」の中で公開されているダイナミカル・グラウンド・コンプライアンス (DGC) 解と比較し、その妥当性を確認している。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1. 3. 1 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1. 2. 1 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0036_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-29 計算機プログラム（解析コード）の概要

・mflow

2021年2月

東北電力株式会社

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. 検証及び妥当性確認の詳細	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	4
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
4. 引用文献	16

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）mflow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
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1.0
VI-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.0
VI-2-2-29	第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書	Ver. 1.0
VI-2-2-30	第3号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.0
VI-2-11-2-3	タービン建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目	コード名 mflow
使用目的	1次元地盤モデルによる地震動の算定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2011年
使用したバージョン	Ver. 1.0
コードの概要	<p>mflow（以下「本解析コード」という。）は、1次元地盤の非線形地震応答解析用として開発された解析コードである。</p> <p>地盤の非線形モデルとして、双曲線モデル（履歴則は Masing 則）や R0 モデルの他に、石原・吉田モデルをサポートしており、時刻歴解析を必要とする高層評定や免震評定、風力発電施設の許認可業務における地盤の非線形地震応答解析に使用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる解析結果と日本建築学会の文献*を比較し、両者がおおむね一致することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の高層評定や免震評定、風力発電施設に使用されており、十分な使用実績があるため信頼性がある。 ・同じ非線形モデルに基づいた解析結果と本解析コードの解析結果のベンチマークを行った結果、おおむね一致していることを確認している。 ・本工事計画で行う地盤の応答解析の用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

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

3. 検証及び妥当性確認の詳細

3.1 一般事項

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

3.2 解析コードの特徴

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

3.3 解析理論

3.3.1 運動方程式

多自由度系の運動方程式は一般に(1)式で表される。

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

ここで、

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

3.3.2 減衰項の策定

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

(1) 各部別内部粘性型減衰

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

$$[C] = \sum \beta_e [K_e] \quad (2)$$

$$\beta_e = 2h_e T_e / 2\pi$$

ここで、

h_e : 部材の減衰定数

T_e : 部材の減衰マトリックスを定義する周期

(2) レーリー減衰

減衰項は、以下のように表される。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (3)$$

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

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

ここで、

ω_1 : 減衰定数 h_1 を定義する円振動数

ω_2 : 減衰定数 h_2 を定義する円振動数

3.3.3 直接積分法による解法

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

(1) 式の運動方程式を増分形式で表すと (4) 式となる。

$$M\{\Delta\ddot{u}\} + C\{\Delta\dot{u}\} + K\{\Delta u\} = -M\{1\}\Delta\alpha \quad (4)$$

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

$$\begin{aligned} \{\Delta u_{n+1}\} &= \{u_{n+1}\} - \{u_n\} = \Delta t \left(\frac{\{\dot{u}_{n+1}\} + \{\dot{u}_n\}}{2} \right) \\ &= \Delta t \left(\frac{(\{\dot{u}_n\} + \{\Delta\dot{u}_{n+1}\}) + \{\dot{u}_n\}}{2} \right) = \Delta t \left(\{\dot{u}_n\} + \frac{\{\Delta\dot{u}_{n+1}\}}{2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\{\Delta\dot{u}_{n+1}\} = \Delta t \left(\{\ddot{u}_n\} + \frac{\{\Delta\ddot{u}_{n+1}\}}{2} \right) \quad (6)$$

(5) 式、(6) 式より

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

$$\{\Delta\ddot{u}_{n+1}\} = \frac{4}{\Delta t^2}\{\Delta u_{n+1}\} - \frac{4}{\Delta t}\{\dot{u}_n\} - 2\{\ddot{u}_n\} \quad (8)$$

(7)式, (8)式を(4)式に代入し, $\{\Delta u_{n+1}\}$ に関して解く。

$$\begin{aligned} & M\left(\frac{4}{\Delta t^2}\{\Delta u_{n+1}\} - \frac{4}{\Delta t}\{\dot{u}_n\} - 2\{\ddot{u}_n\}\right) + C\left(\frac{2}{\Delta t}\{\Delta u_{n+1}\} - 2\{\dot{u}_n\}\right) + K\{\Delta u_{n+1}\} = -M\{1\}\Delta\alpha \\ \Rightarrow & \left(M\frac{4}{\Delta t^2} + C\frac{2}{\Delta t} + K\right)\{\Delta u_{n+1}\} = -M\{1\}\Delta\alpha + M\left(\frac{4}{\Delta t}\{\dot{u}_n\} + 2\{\ddot{u}_n\}\right) + C(2\{\dot{u}_n\}) \\ \Rightarrow & \{\Delta u_{n+1}\} = \left(M\frac{4}{\Delta t^2} + C\frac{2}{\Delta t} + K\right)^{-1}\left(-M\{1\}\Delta\alpha + M\left(\frac{4}{\Delta t}\{\dot{u}_n\} + 2\{\ddot{u}_n\}\right) + C(2\{\dot{u}_n\})\right) \quad (9) \end{aligned}$$

(9)式を解くと, $n+1$ ステップの変位増分が得られる。また, (7)式, (8)式を用いて $n+1$ ステップの速度増分および加速度増分が得られる。

3.3.4 石原・吉田モデルによる非線形特性

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

(1) 双曲線モデルの骨格曲線と履歴曲線

双曲線モデルの骨格曲線は(10)式で表される。

$$\tau = \frac{G_0\gamma}{1+G_0\gamma/\tau_{max}} \quad (10)$$

ここで,

G_0 : 初期せん断剛性

τ_{max} : 最大せん断強度

これを, 基準ひずみ $\gamma_r (= \tau_{max}/G_0)$ を用いて書き直すと(11)式となる。

$$\frac{\tau}{\tau_{max}} = \frac{\frac{\gamma}{\gamma_r}}{1+\frac{\gamma}{\gamma_r}} \quad (11)$$

さらに, $\frac{\tau}{\tau_{max}} = \eta$, $\frac{\gamma}{\gamma_r} = \xi$ とおくと, 骨格曲線は(12)式のように表される。

$$\eta = f(\xi) = \frac{\xi}{1+|\xi|} \quad (12)$$

また骨格曲線の任意の点 (ξ_B, η_B) から除荷された時の履歴曲線は, Masing 則に従い, 骨格曲線を2倍にした相似曲線として(13)式のように表される(図 3.3-1 参

照)。

$$(\eta - \eta_B)/2 = f[(\xi - \xi_B)/2] \quad (13)$$

(2) 石原・吉田モデル

石原・吉田モデルは、双曲線モデルの減衰を任意に調整するため、(13)式で定義される履歴曲線を補正している。すなわち、(14)式に示す a, b の2つのスケーリングパラメータを導入して、仮想の骨格曲線を設定し、履歴曲線の形状を修正している(図3.3-2参照)。

$$\begin{aligned} \xi' &= \xi/a \\ \eta' &= \eta/b \end{aligned} \quad (14)$$

これにより、骨格曲線の任意の点 (ξ_B, η_B) から除荷した時の履歴曲線は、(14)式を用いて(13)式を修正することで、以下のように表される。

$$\begin{aligned} \xi'_B &= \xi_B/a \\ \eta'_B &= \eta_B/b \end{aligned} \quad (15)$$

$$(\eta' - \eta'_B)/2 = f[(\xi' - \xi'_B)/2] \quad (16)$$

パラメータ a と b の評価法を以下に示す。

a. パラメータ a の評価法

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

(15)式と(16)式で定義した履歴曲線が描く履歴ループによる減衰定数は(17)式となる。

$$D\left(\left|\frac{\xi_B}{a}\right|\right) = \left(\frac{4}{\pi}\right)\left(1 + 1/\left|\frac{\xi_B}{a}\right|\right)\left[1 - \left(1/\left|\frac{\xi_B}{a}\right|\right)\right]\ln\left(1 + \left|\frac{\xi_B}{a}\right|\right) - \left(\frac{2}{\pi}\right) \quad (17)$$

次に、室内試験による土の減衰定数が下式で表せるものとする。

$$h = h_{max} \cdot (\gamma/\gamma_r)/(1 + \gamma/\gamma_r) = h_{max} \cdot \xi/(1 + \xi) \quad (18)$$

ここで、

h_{max} : 最大減衰定数

(18)式より、折返し点 (ξ_B, η_B) での履歴減衰は、(19)式のように表される。

$$h(|\xi_B|) = h_{max} \cdot |\xi_B|/(1 + |\xi_B|) \quad (19)$$

パラメータ a は、(18)式と(19)式が一致するよう下式を解くことにより求めら

れる。

$$h(|\xi_B|) - D(|\xi_B/a|) = 0 \quad (20)$$

b. パラメータ b の評価法

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

$$-\eta'_B = f(-\xi'_B) = \frac{-\xi'_B}{1+|\xi'_B|} \quad (21)$$

ここで，(21)式の履歴曲線は，Masing 則に従い，折返し点 (ξ_B, η_B) から始まり，かつ，折返し点の対称点 $(-\xi_B, -\eta_B)$ に到達させるため，下式を満たす必要がある。

$$\eta_B = f(\xi_B) = \frac{\xi_B}{1+|\xi_B|} \quad \text{or} \quad -\eta_B = f(-\xi_B) = \frac{-\xi_B}{1+|\xi_B|} \quad (22)$$

パラメータ b は，(22)式を境界条件として(21)式を解くことにより求められる。すなわち，(21)式に(15)式を代入すると，パラメータ b は(23)式のように表される。

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

$$b = \eta_B \cdot \frac{1+|\xi_B/a|}{\xi_B/a} = \eta_B \cdot \frac{a+|\xi_B|}{\xi_B} \quad (23)$$

(23)式に(22)式を代入すると，パラメータ a と折返し点での正規化ひずみ点 ξ_B から，パラメータ b は(24)式のように求められる。

$$b = (a + |\xi_B|)/(1 + |\xi_B|) \quad (24)$$

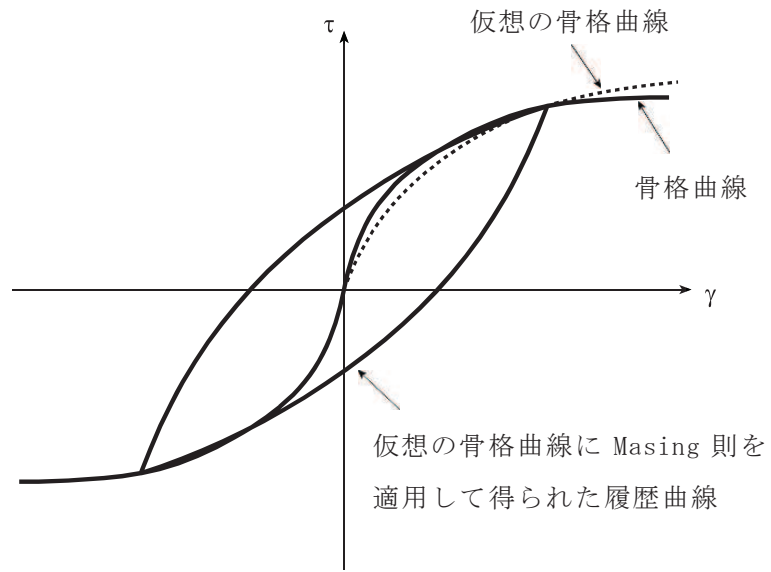


図 3.3-1 石原・吉田らによる履歴モデルの改良

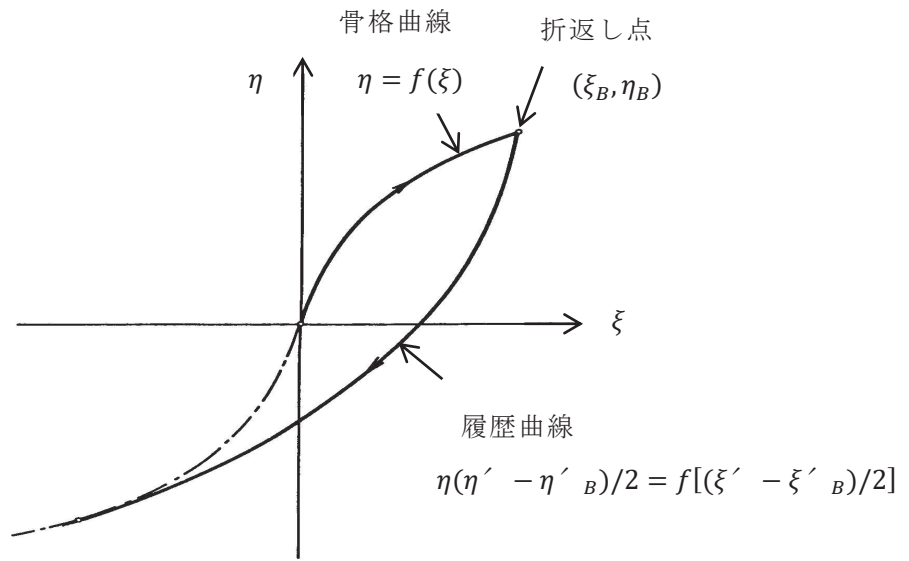


図 3.3-2 骨格曲線と履歴曲線

3.4 解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを図 3.4-1 に示す。

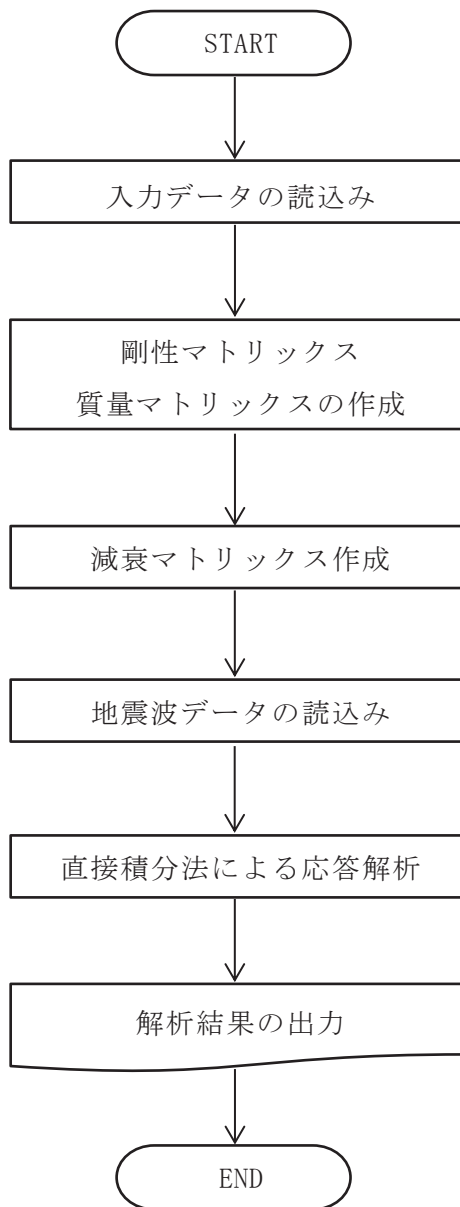


図 3.4-1 解析フローチャート

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

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

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

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

3.5.1 地盤モデル及び検討条件

検証を行う解析モデルと解析諸元、及び地盤の非線形特性を図 3.5-1、表 3.5-1、図 3.5-2 に示す。

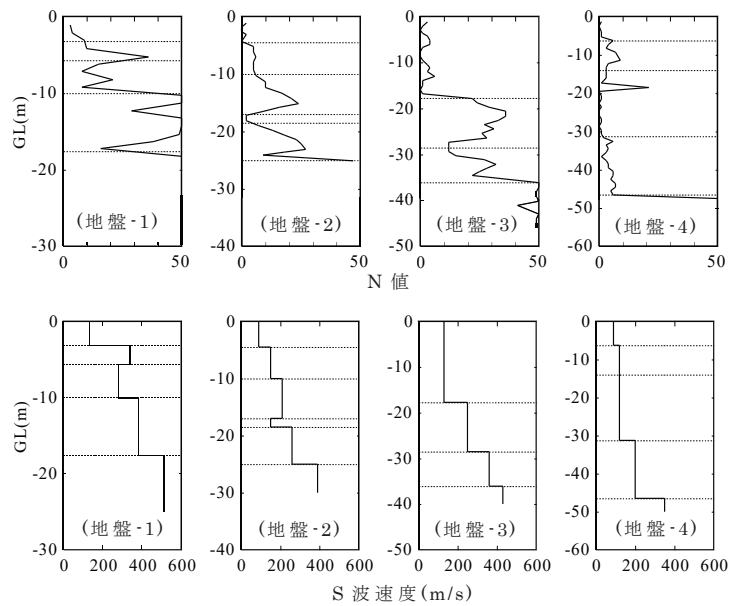


図 3.5-1 検証対象とする地盤モデル（N 値と S 波速度の分布）⁽²⁾

表 3.5-1 検証対象とする地盤モデル（地盤諸元）⁽²⁾

(a) 地盤-1

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

(b) 地盤-2

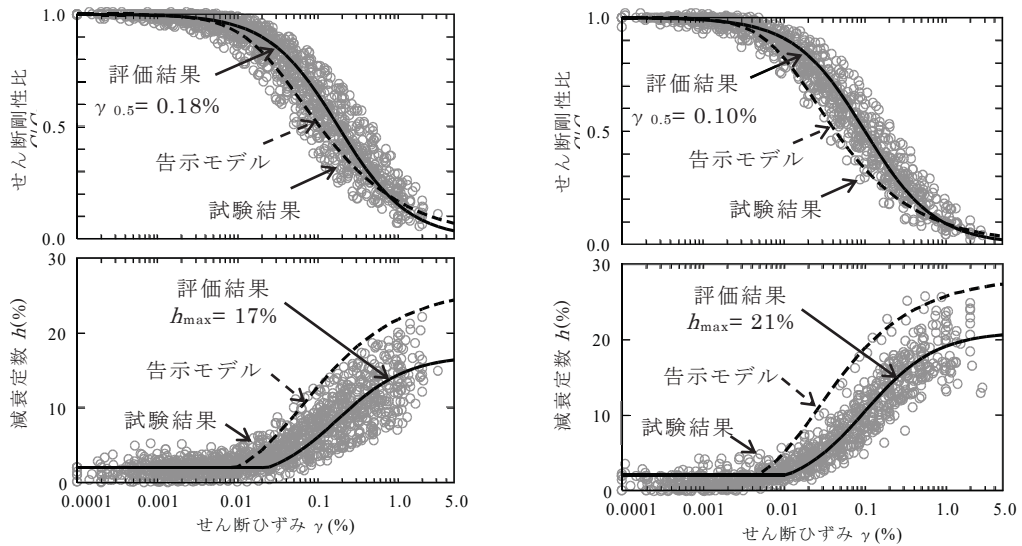
	深度 D (m)	層厚 H (m)	密度 ρ (t/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	土質
1	4.5	4.5	1.8	90	1360	粘性土
2	10.0	5.5	1.6	150	1560	砂質土
3	17.0	7.0	1.8	210	1560	砂質土
4	18.5	1.5	1.7	150	1560	粘性土
5	25.0	6.5	1.8	260	1560	砂質土
工学的基盤			1.8	390	1700	

(c) 地盤-3

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

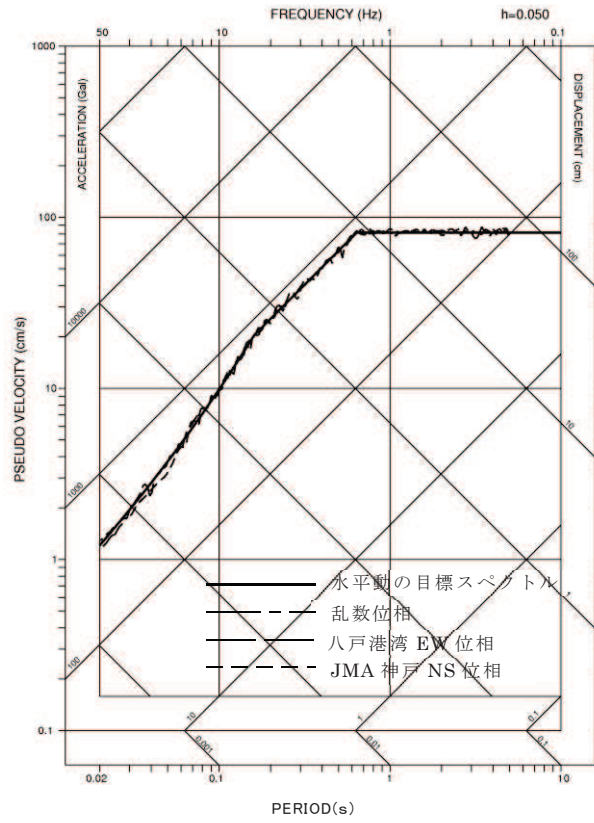
(d) 地盤-4

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

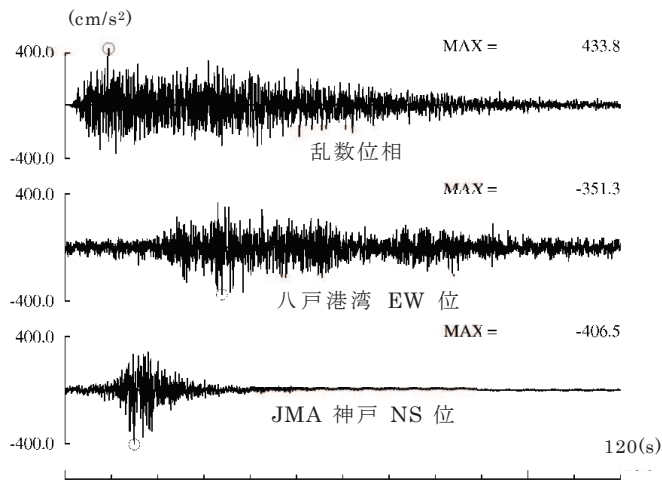


(a) 粘性土 : Clay (粘土およびシルト) (b) 砂質土 : Sand (砂および礫)

図 3.5-2 検証対象に用いた地盤の非線形特性⁽²⁾



(a) 擬似速度応答スペクトル (減衰 5%)



(b) 加速度波形

図 3.5-3 検証に用いた入力地震動⁽²⁾

3.5.2 比較結果

日本建築学会の文献による解析解と本解析コードの解析解の比較として、地盤の応答最大値分布を図 3.5-4 に、地表面加速度波形を図 3.5-5、地盤のせん断応力-せん断ひずみ関係を図 3.5-6 に示す。

図 3.5-4～図 3.5-6 より日本建築学会の文献による解析解と本解析コードによる解析解は十分な精度で一致しており、本解析コードが地盤応答を正しく評価していることが確認できる。

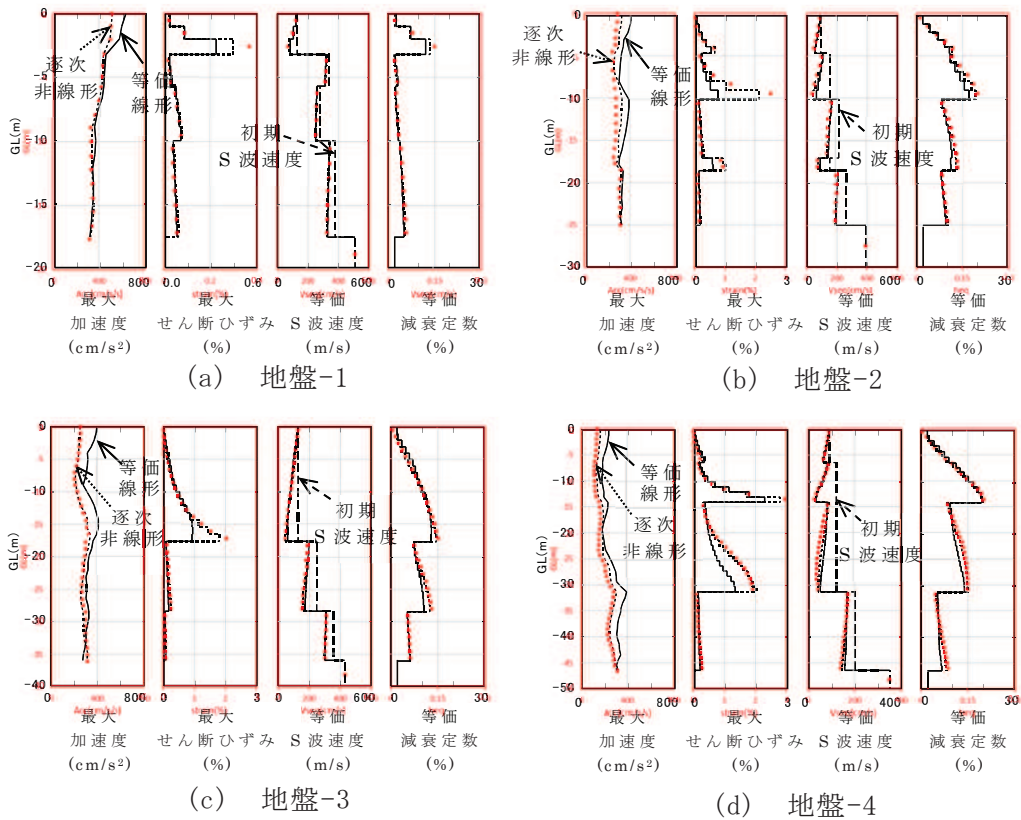


図 3.5-4 応答最大値分布の比較*

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

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

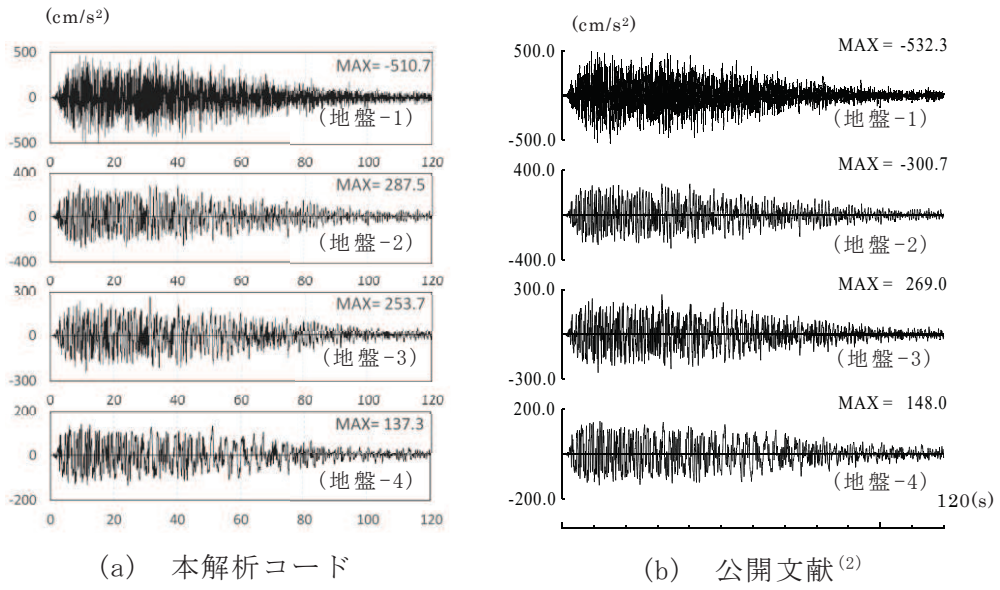


図 3.5-5 地表加速度波形の比較 (告示波・乱数位相入力時)

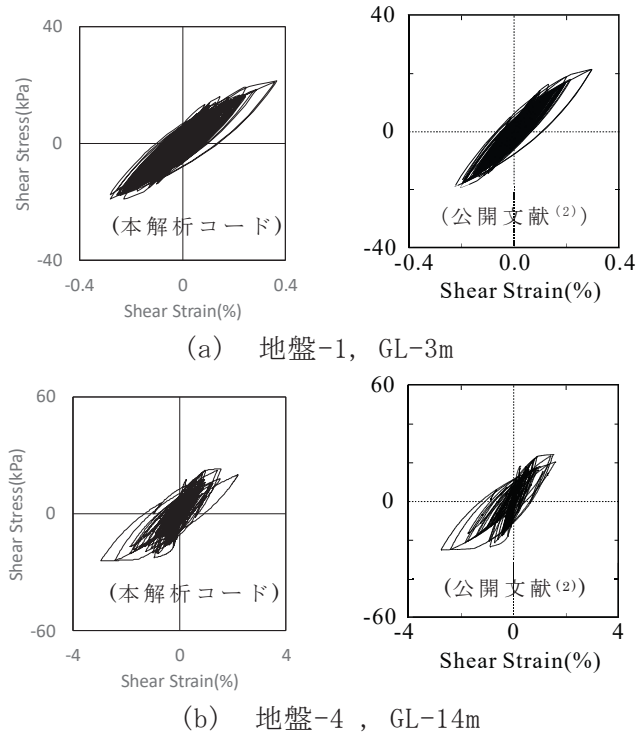


図 3.5-6 地盤のせん断応力-せん断ひずみ関係の比較

3.5.3 評価結果

以上のとおり、本解析コードによる地盤応答計算の機能について

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

従って、本解析コードの当該機能は適切である。

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

4. 引用文献

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

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0037_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-30 計算機プログラム（解析コード）の概要
・NUPP4

2021年9月

東北電力株式会社

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）NUPP4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
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 4. 6, Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 9, Ver. 1. 4. 10, Ver. 1. 4. 11
VI-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 11
VI-2-2-3	制御建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 4. 12
VI-2-2-4	制御建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 12
VI-2-2-21	緊急用電気品建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 4. 11, Ver. 1. 4. 12, Ver. 1. 4. 13
VI-2-2-23	緊急時対策建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 4. 13
VI-2-2-29	第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 4. 11
VI-2-2-30	第3号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 11, Ver. 1. 4. 12, Ver. 1. 4. 13
VI-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 13
VI-2-11-2-3	タービン建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 10, Ver. 1. 4. 13
VI-2-11-2-4	補助ボイラー建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 10, Ver. 1. 4. 13
VI-2-11-2-5	第1号機制御建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 10, Ver. 1. 4. 13

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	NUPP4
使用目的	固有値解析, スペクトルモーダル解析, 地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1967年
使用したバージョン	Ver. 1. 4. 6, Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 9, Ver. 1. 4. 10, Ver. 1. 4. 11, Ver. 1. 4. 12, Ver. 1. 4. 13
コードの概要	<p>NUPP4 (以下「本解析コード」という。) は, 原子力発電所建屋の地震応答解析用として開発された質点系モデルによる解析計算機コードである。</p> <p>静荷重 (節点荷重), 固有値解析, スペクトルモーダル解析及び動荷重 (節点加振力, 地震入力) を扱うことができる。</p> <p>地震応答解析は, 線形解析及び非線形解析を時間領域における数値積分により行うほか, 線形解析を周波数領域で行うことが可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは, 後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について, 動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの旧バージョンである NUPP 及び NUPP II (以下「旧バージョン」という。) は, 日本国内の原子力施設における建築物の地震応答解析において数多くの工事計画に使用されており, 十分な使用実績がある。本解析コードは使用計算機 (OS) の変更に伴うカスタマイズを施したものであり解析に係る部分は旧バージョンから変更していないため, 旧バージョン同様, 信頼性があると判断できる。 ・固有値解析, 弾性地震応答解析については, 一般産業界において多数の解析で使用実績のある DYNA2E*¹ を用いて, 同一諸元による解析を行い, 本解析コードによる解析結果とおおむね一致することを確認している。 ・弾塑性地震応答解析については, 既工事計画において確認している

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>(財) 原子力発電技術機構の報告書*2による解析結果とおおむね一致することを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1. 4. 10 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1. 4. 6, Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 9, Ver. 1. 4. 11, Ver. 1. 4. 12, Ver. 1. 4. 13 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。
--	---

注記*1 : DYNA2E 販売元 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

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

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0038_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-31 計算機プログラム（解析コード）の概要
・SHAKE

2021年9月

東北電力株式会社

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 SHAKE 導入時 Ver.	4
2.2 SHAKE Ver. 1.6.....	5
2.3 SHAKE Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.11, Ver. 1.6.13.....	6
3. SHAKE Ver. 1.6 の解析手法について	7
3.1 一般事項.....	7
3.2 解析コードの特徴.....	7
3.3 解析理論.....	8
3.4 解析フローチャート.....	11
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	12

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）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
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.11
VI-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.6.11
VI-2-2-5	復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-13	軽油タンク室の地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-15	軽油タンク室 (H) の地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-19	軽油タンク連絡ダクトの地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-21	緊急用電気品建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.11
VI-2-2-23	緊急時対策建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.11
VI-2-2-25	排気筒基礎の地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-27	排気筒連絡ダクトの地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-29	第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.11
VI-2-2-30	第3号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.11
VI-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-10-2-2-2	防潮堤（盛土堤防）の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-11-2-3	タービン建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.13
VI-2-11-2-15	第1号機排気筒の耐震性についての計算書	導入時 Ver., Ver. 1.6
VI-2-11-2-17	第1号機取水路の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-11-2-19	北側排水路の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-11-2-20	アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-13-2	地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-13-3	地下水位低下設備接続柵の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-13-4	地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書	Ver. 1.6

使用添付書類		バージョン
VI-2-13-5	地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-別添 3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 1.6
VI-3-別添 3-2-1-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書	Ver. 1.6
VI-3-別添 3-2-1-2	防潮堤（盛土堤防）の強度計算書	Ver. 1.6

2. 解析コードの概要

2.1 SHAKE 導入時 Ver.

項目 \ コード名	SHAKE
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動の策定
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1988年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	<p>SHAKE (以下「本解析コード」という。)は、米国カリフォルニア大学から発表された SHAKE を基本に開発されたもので、1次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴波形を算出するプログラムである。</p> <p>地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができ、また、鉛直動はS波速度V_sをP波速度V_pとして定義することで、各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等を求めることが可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードを用いて評価した弾性地盤の増幅特性が理論解と一致していることを確認している。 ・汎用コードである「Super FLUSH/2D for Windows Ver. 5.3.0 (発売元 株式会社構造計画研究所・株式会社地震工学研究所)」と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして使用していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、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本工事計画の解析に適用することは妥当である。 ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機においてコントロール建屋の底面地盤ばねの算定において使用された実績がある。 ・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。

2.2 SHAKE Ver. 1.6

項目	コード名 SHAKE
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動の策定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1971年
使用したバージョン	Ver. 1.6
コードの概要	<p>SHAKE (以下「本解析コード」という。)は、米国カリフォルニア大学から発表されたSHAKEを基本に開発されたもので、1次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴波形を算出するプログラムである。</p> <p>地盤の非線形性は、ひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができ、また、鉛直動はS波速度V_sをP波速度V_pとして定義することで、各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等を求めることが可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コード(Ver. 1.6)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おおむね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして使用していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・入力地震動算定に対して、原子力産業界において1次元重複反射理論に基づく地震応答解析は既工事計画において実績があり、同じ理論に基づく解析コードであるshake-91を用いた1次元地震応答解析を行った解析解と、本解析コードによる解析解を比較したコードベンチマーキングを行った結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.3 SHAKE Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.11,
Ver. 1.6.13

項目	コード名 SHAKE
使用目的	入力地震動の策定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1971年
使用したバージョン	Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.11, Ver. 1.6.13
コードの概要	<p>SHAKE（以下「本解析コード」という。）は、米国カリフォルニア大学から発表された SHAKE を基本に開発されたもので、1次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴波形を算出するプログラムである。</p> <p>地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができ、また、鉛直動はS波速度V_sをP波速度V_pとして定義することで、各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等を求めることが可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コード Ver. 1.6 による弾性地盤の増幅特性の解析結果と公開文献*の理論解を比較し、両者が一致することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、本解析コードの解析結果と公開文献*の理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認している。 ・本工事計画における弾性地盤の応答評価の用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.6.9 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.11, Ver. 1.6.13 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。

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

3. SHAKE Ver. 1.6 の解析手法について

3.1 一般事項

本資料は、解析コード SHAKE Ver. 1.6 (以下「本解析コード」という。) の概要である。

SHAKE Ver. 1.6 (1次元波動伝播解析コード) は、重複反射理論に基づく地震応答解析を行うことが可能であり、1次元地震応答解析 (入力地震動算定) に使用している。

3.2 解析コードの特徴

SHAKE Ver. 1.6 における地盤の非線形性は、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。

SHAKE Ver. 1.6 の主な特徴として、①～③を挙げることができる。

- ① 1次元重複反射理論に基づくプログラムである。
- 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。
- ③ 鉛直動は、S波速度 V_s をP波速度 V_p として定義することで対応が可能。

3.3 解析理論

図 3-1 に示す線形粘弾性系を通過するせん断波による応答を考える。線形粘弾性系は、均質、等方性であり、厚さが h 、密度が ρ 、せん断弾性係数が G 、臨界減衰比が β で定義されているとする。せん断波の伝播は水平変位 $u=u(x, t)$ のみによる。これは、次の波動方程式を満足しなければならない。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (3.1)$$

波動方程式 (3.1) の解は、振動数 ω に対し、次式で与えられる。

$$u(x, t) = E e^{i(kx + \omega t)} + F e^{-i(kx - \omega t)} \quad (3.2)$$

ここに、

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

である。式 (3.2) の第 1 項は、 X のマイナス方向（上向き）に伝わる入射波を示し、第 2 項は X のプラス方向（下向き）に伝わる反射波を示している。また、水平方向におけるせん断応力度の定義は次式で与えられる。

$$\tau(x, t) = G \frac{\partial u}{\partial x} + \eta \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} = G^* \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.4)$$

式 (3.4) に式 (3.2) を代入すると、

$$\tau(x, t) = ikG^* (E \cdot e^{ikx} - F \cdot e^{-ikx}) \cdot e^{i\omega t} \quad (3.5)$$

となる。

式 (3.1) は第 1 図の各層にて成り立つ。各層の局所座標系 X で表される m 層の最上部 $X=0$ 及び最下部 $X=h_m$ における変位は、第 m 層における厚さを h_m 、密度を ρ_m 、せん断弾性係数を G_m 、臨界減衰比を β_m で定義すると、それぞれ次のように表せる。

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (3.6)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m \cdot e^{ik_m h_m} + F_m \cdot e^{-ik_m h_m}) e^{i\omega t} \quad (3.7)$$

ここで、任意の m 層と $m+1$ 層の変位及びせん断応力との連続性を考慮すると次の循環公式が求まる。

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m) \cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m) \cdot e^{-ik_m h_m} \quad (3.8)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m) \cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m) \cdot e^{-ik_m h_m} \quad (3.9)$$

ここに、 α_m は複素インピーダンス比と呼ばれる定数で、次式で定義されている。

$$\alpha_m = \frac{k_m G_m^*}{k_{m+1} G_{m+1}^*} = \left(\frac{\rho_m G_m^*}{\rho_{m+1} G_{m+1}^*} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

この複素インピーダンス比 α_m は、周期に対して独立である。自由面におけるせん断応力度 $\tau=0$ と式 (3.7) より $E_1=F_1$ が得られる。循環公式 (3.8), (3.9) を繰り返し用いて、次のような層と表層の振幅の関係を導き出すことができる。

$$E_m = e_m(\omega) E_1 \quad (3.11)$$

$$F_m = f_m(\omega) F_1 \quad (3.12)$$

伝達関数 e_m 及び f_m は、単なる $E_1=F_1=1$ に対する倍率であり、 $E_1=F_1=1$ を上式に代入して解けば求まる。

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

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} \quad (3.13)$$

式 (3.13) に式 (3.4), (3.11) 及び (3.12) を代入して整理すると次式を得る。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{e_m(\omega)+f_m(\omega)}{e_n(\omega)+f_n(\omega)} \quad (3.14)$$

これらの式より、伝達関数 $A(\omega)$ は、系のいかなる 2 つの層の間においても定められる。

故に、任意の層の動的変位が判れば、他の層の動的変位も計算できる。式 (3.2) より、加速度 $\ddot{u}(x, t)$ 、ひずみ $\gamma(x, t)$ は次のように得られる。

$$\ddot{u}(x, t) = \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = -\omega^2 (Ee^{i(kx+\omega t)} + Fe^{-i(kx-\omega t)}) \quad (3.15)$$

$$\gamma(x, t) = \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} = ik(Ee^{i(kx+\omega t)} - Fe^{-i(kx-\omega t)}) \quad (3.10)$$

振幅 E 及び F は、系全体の層において求めることができるので、加速度及びひずみも求めることができる。

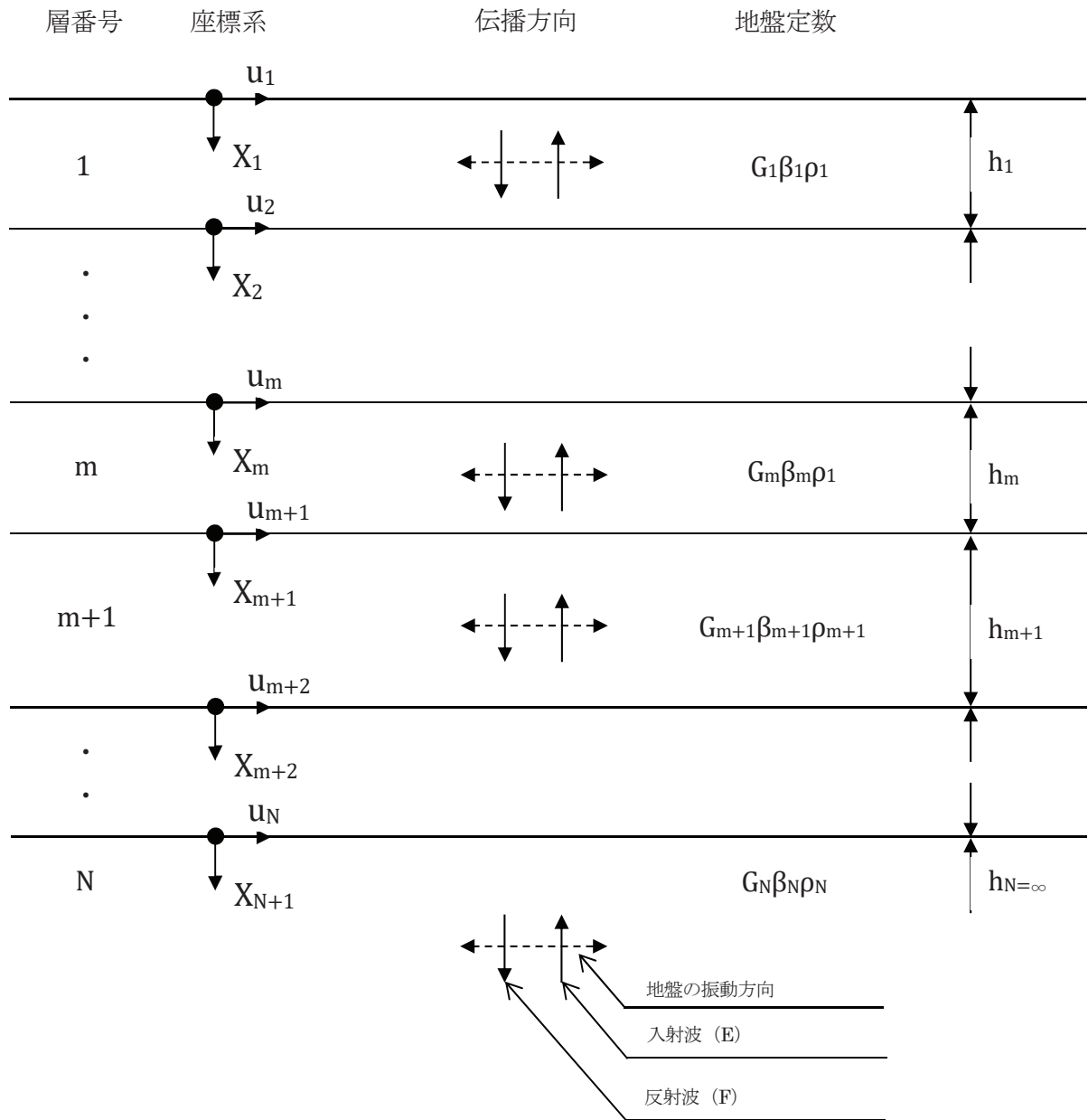


図 3-1 1次元地盤モデル

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-2 に示す。

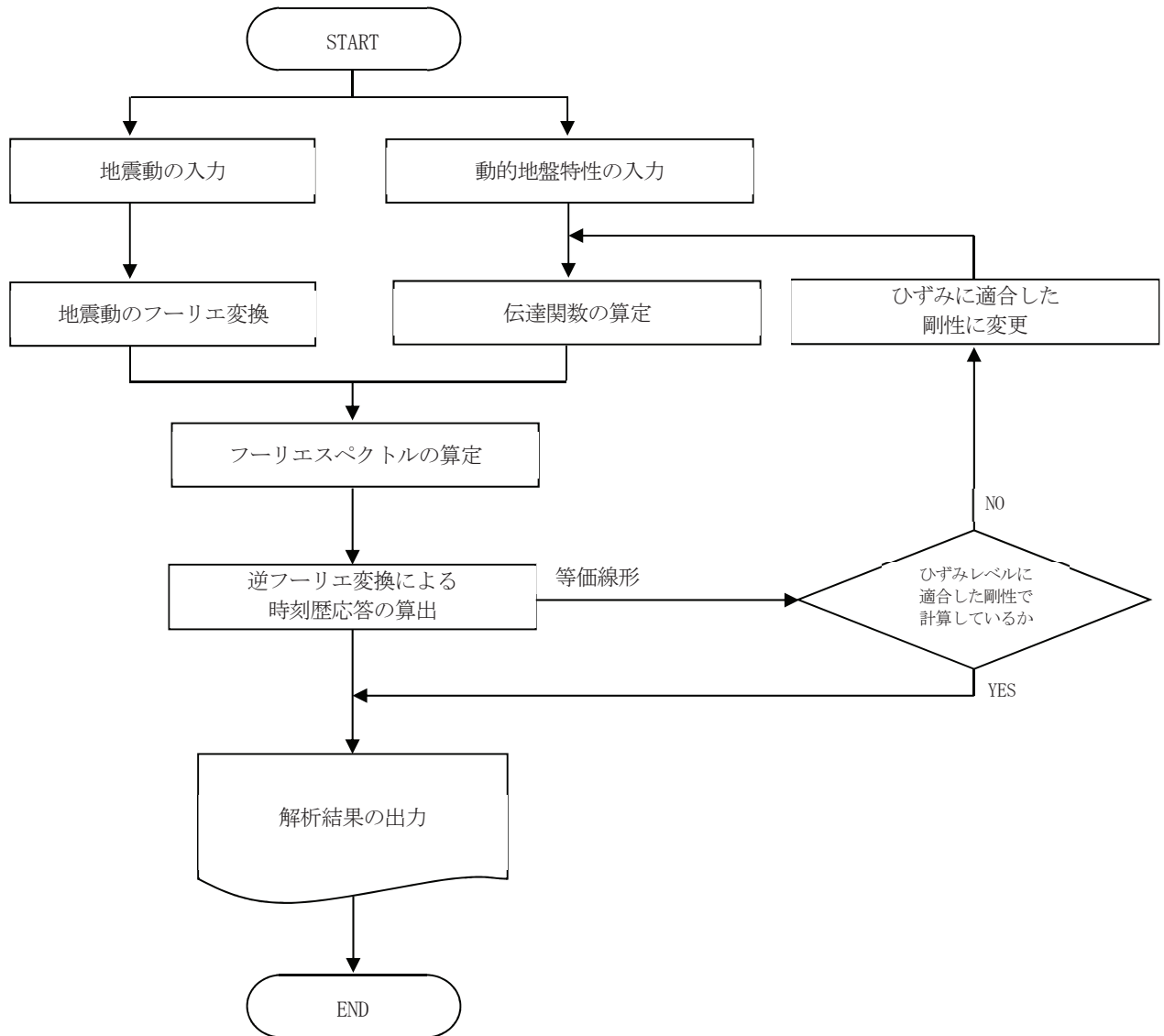


図3-2 解析フローチャート

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

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証として理論解との比較を実施した。妥当性確認として類似プログラムとの比較を実施した。その詳細な内容については下記のとおりとする。

a. 検証 (Verification)

二層のモデル地盤において、1次元重複反射理論に基づく伝達関数の理論解との比較を行った。

(a) 検証モデル及び検討条件

図 3-3 に検討地盤モデルを示す。

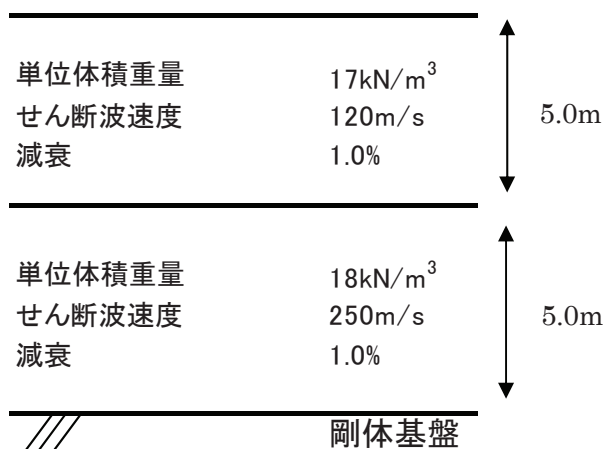


図 3-3 地盤モデル諸元

<検討条件>

- ・重力加速度は 9.80m/s^2 とする。
- ・検討する振動数は $0\sim 20\text{Hz}$ までとする。

(b) 比較結果

伝達関数の比較結果を図 3-4 に示す。

図より、SHAKE Ver. 1.6 と理論解の結果は一致していることが確認できる。

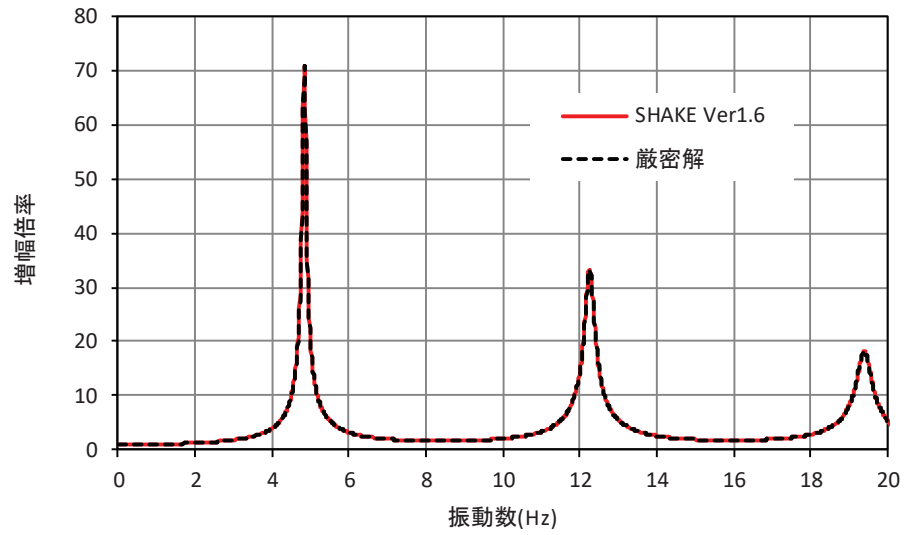


図 3-4 理論解との伝達関数の比較

b. 妥当性確認 (Validation)

カルフォルニア大学バークレー校が有償配布している 1 次元地盤の等価線形解析プログラム shake-91 との比較を実施した。

(a) 検証モデル

表 3-1 に検討地盤モデルを示し、図 3-5、図 3-6 にひずみ依存特性を示す。

表 3-1 地盤モデル諸元

区分	層厚 (m)	分割 (m)	深度 (m)	湿潤単位 体積重量 γ_t (kN/m ³)	動的せん断 弾性係数 Gd (kN/m ²)	せん断波速度 Vs (m/s)	減衰定数 h
第1粘性土層	4.00	1.00	1.00	17	21000	110	0.030
		1.00	2.00	17	21000	110	0.030
		1.00	3.00	17	21000	110	0.030
		1.00	4.00	17	21000	110	0.030
第2粘性土層	10.80	1.20	5.20	16	25000	124	0.020
		1.20	6.40	16	25000	124	0.020
		1.20	7.60	16	25000	124	0.020
		1.20	8.80	16	25000	124	0.020
		1.20	10.00	16	25000	124	0.020
		1.20	11.20	16	25000	124	0.020
		1.20	12.40	16	25000	124	0.020
		1.20	13.60	16	25000	124	0.020
第3粘性土層	9.60	1.60	16.40	16	43000	162	0.020
		1.60	18.00	16	43000	162	0.020
		1.60	19.60	16	43000	162	0.020
		1.60	21.20	16	43000	162	0.020
		1.60	22.80	16	43000	162	0.020
		1.60	24.40	16	43000	162	0.020
第1砂質土層	1.20	1.20	25.60	19	159000	286	0.020
第4粘性土層	8.00	2.00	27.60	17	110000	252	0.020
		2.00	29.60	17	110000	252	0.020
		2.00	31.60	17	110000	252	0.020
		2.00	33.60	17	110000	252	0.020
第2砂質土層	2.00	2.00	35.60	19	273000	375	0.010
礫層(基盤)				20	398000	442	0.010

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.985	2.30
0.0005	0.930	2.80
0.001	0.880	3.20
0.002	0.819	3.60
0.005	0.729	4.40
0.01	0.648	5.10
0.02	0.578	5.70
0.05	0.459	7.30
0.1	0.381	9.20
0.2	0.300	11.00
0.5	0.198	14.00
1	0.129	16.10
2	0.078	17.60
5	0.028	19.20
10	0.014	20.00

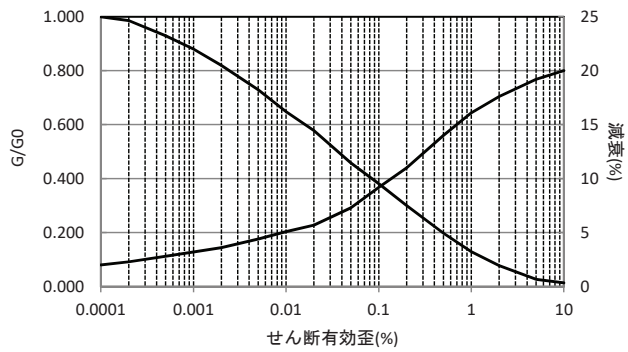


図 3-5 ひずみ依存特性 (第 1 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.989	2.30
0.0005	0.952	2.80
0.001	0.916	3.20
0.002	0.874	3.60
0.005	0.811	4.40
0.01	0.752	5.10
0.02	0.698	5.70
0.05	0.601	7.30
0.1	0.500	9.20
0.2	0.394	11.00
0.5	0.259	14.00
1	0.170	16.10
2	0.102	17.60
5	0.036	19.20
10	0.018	20.00

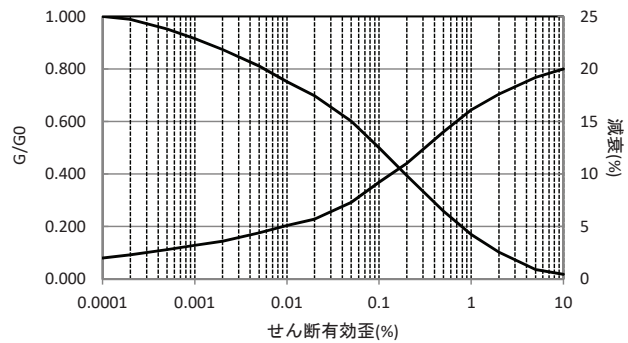


図 3-6 ひずみ依存特性 (第 2 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.963	2.80
0.001	0.934	3.20
0.002	0.902	3.60
0.005	0.853	4.40
0.01	0.807	5.10
0.02	0.764	5.70
0.05	0.684	7.30
0.1	0.569	9.20
0.2	0.448	11.00
0.5	0.295	14.00
1	0.193	16.10
2	0.116	17.60
5	0.041	19.20
10	0.021	20.00

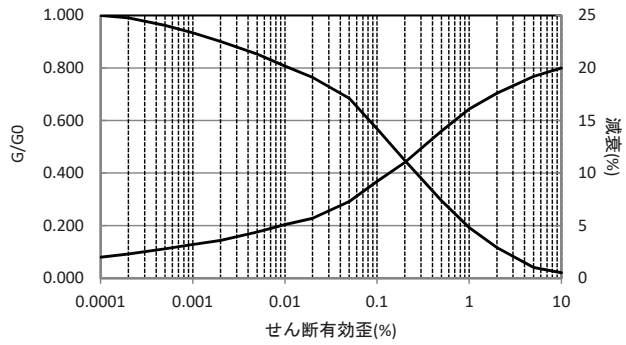


図 3-7 ひずみ依存特性 (第 3 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.980	2.80
0.001	0.962	3.20
0.002	0.933	3.60
0.003	0.910	4.40
0.005	0.873	5.10
0.01	0.797	5.70
0.02	0.699	7.30
0.03	0.616	9.20
0.05	0.512	11.00
0.1	0.367	14.00
0.2	0.237	16.10
0.3	0.177	17.60
0.5	0.113	19.20
1	0.061	20.00

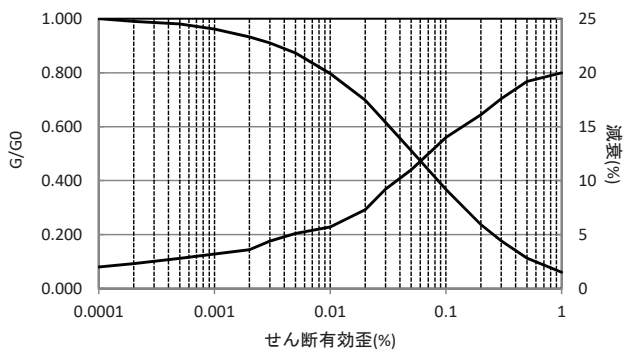


図 3-8 ひずみ依存特性 (第 1 砂質土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.700
0.0002	0.990	0.900
0.0005	0.970	1.300
0.001	0.950	1.600
0.002	0.928	1.900
0.003	0.908	2.300
0.005	0.880	2.800
0.01	0.834	3.700
0.02	0.769	5.000
0.03	0.715	6.300
0.05	0.627	8.400
0.07	0.563	9.900
0.1	0.491	11.900
0.15	0.415	14.200
0.2	0.362	15.800
0.3	0.288	18.300
0.5	0.200	21.700
0.7	0.145	23.300
1	0.085	26.400

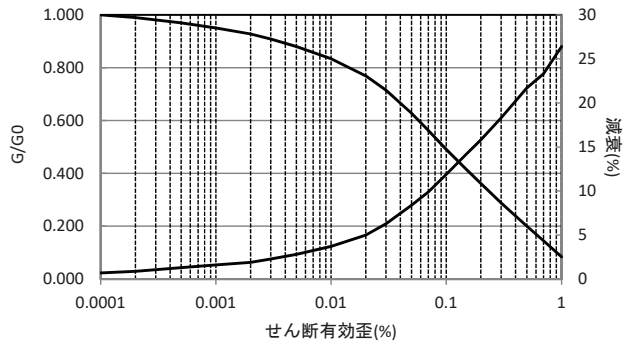


図 3-9 ひずみ依存特性 (第 4 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.00
0.0002	0.997	0.08
0.0005	0.991	0.28
0.001	0.977	0.70
0.002	0.953	1.41
0.003	0.932	2.04
0.005	0.899	3.02
0.01	0.832	5.03
0.02	0.740	7.79
0.03	0.661	10.16
0.05	0.563	13.10
0.1	0.418	17.46
0.2	0.277	21.70
0.3	0.209	23.73
0.5	0.134	25.97
1	0.072	27.83

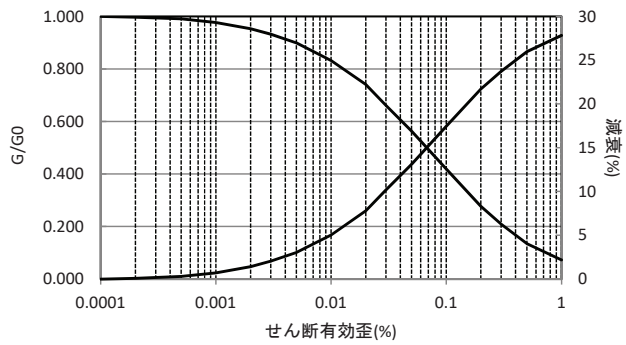


図 3-10 ひずみ依存特性 (第 2 砂質土層)

(b) 検討条件

以下に、検討条件を示す。

- ・重力加速度は 9.80m/s^2 。
- ・等価線形解析とする。
- ・検討する振動数は $0\sim 20\text{Hz}$ までとする。

(c) 入力地震動

入力波は水平一方向に入力する。図 3-11 に入力地震動（2E 波）の加速度時刻歴を示す。

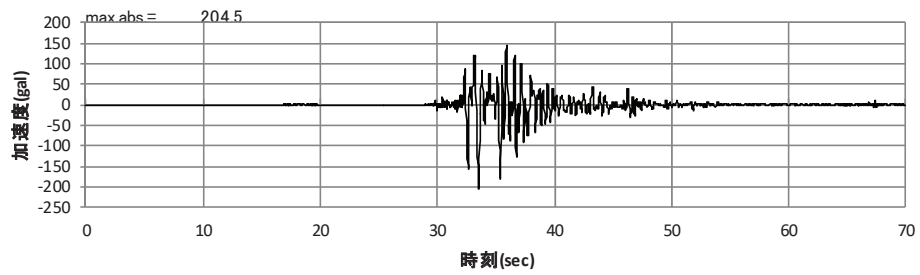


図 3-11 入力地震動加速度時刻歴

(d) 検討結果比較

伝達関数及び加速度の解析解の比較を図 3-12～図 3-15 に示す。各図より、伝達関数及び加速度の解析解は、一致していることが確認できる。

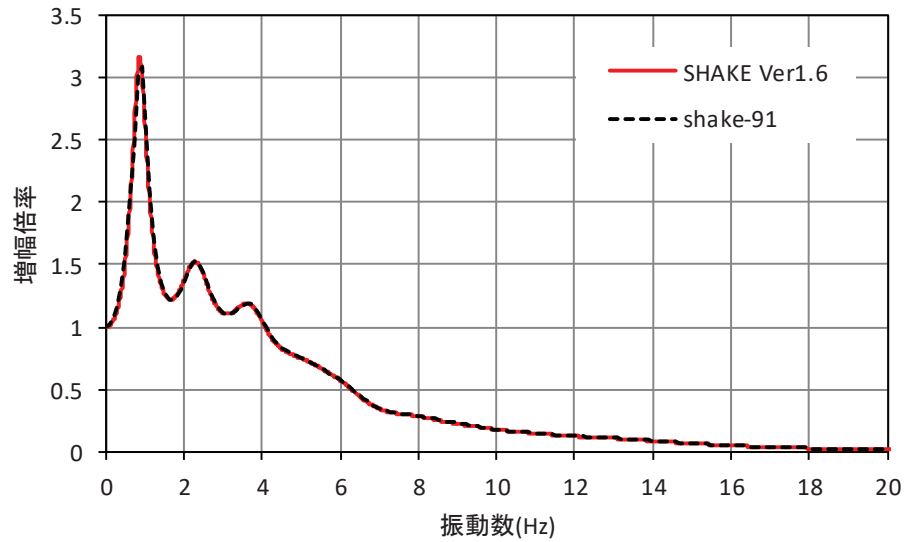


図 3-12 地表面伝達関数比較

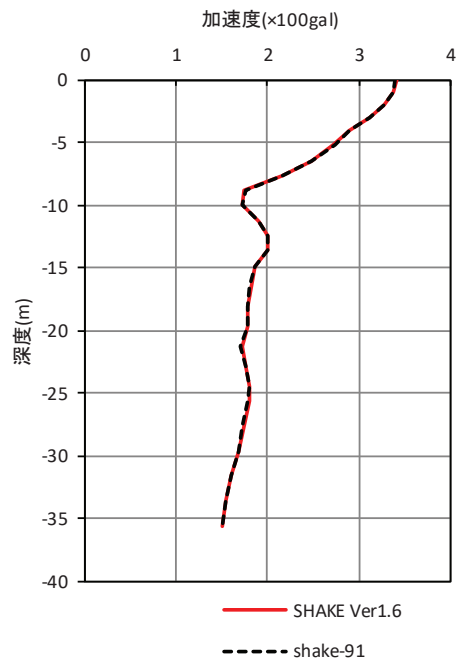


図 3-13 加速度最大分布比較

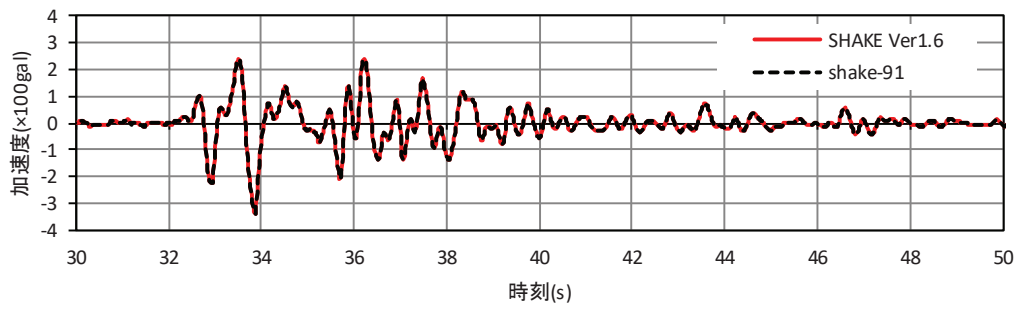


図 3-14 地表面加速度時刻歴比較

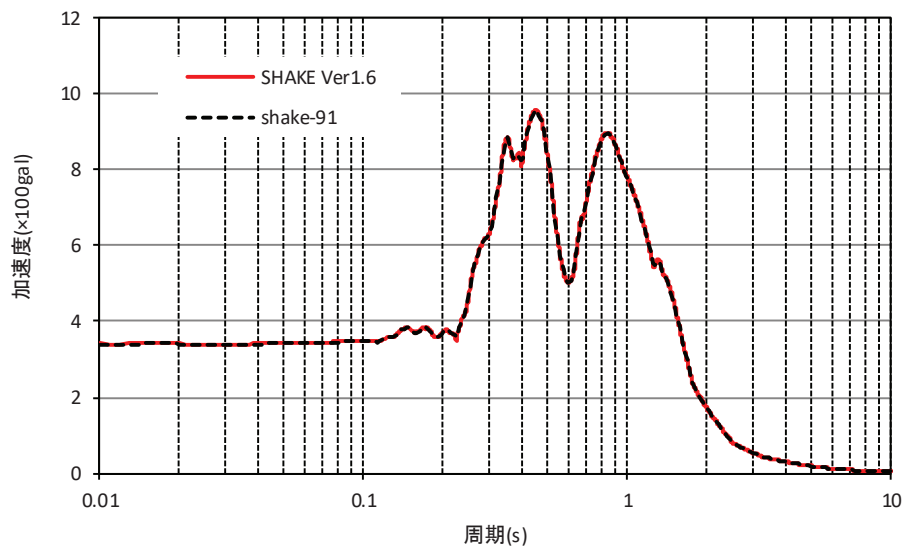


図 3-15 地表面加速度応答スペクトル比較

c. 評価結果

本解析コードの解析結果と理論解を比較し、理論解と解析解が一致していることを確認した。また、類似解析コードである shake-91 と比較し解析解が一致していることを確認した。したがって、本解析に本解析コードを使用することは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0039_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-32 計算機プログラム（解析コード）の概要

- ・ SLAP

2021年9月

東北電力株式会社

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. SLAP の解析手法について	5
3.1 一般事項.....	5
3.2 解析コードの特徴.....	5
3.3 解析手法.....	6
3.3.1 支配方程式.....	6
3.3.2 静的解析.....	7
3.3.3 時刻歴応答解析.....	7
3.4 解析フローチャート.....	8
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	9
3.5.1 理論解との比較による検証.....	9
3.5.2 実験結果と地震応答解析結果との比較による検証.....	14
3.5.3 実験結果と応力解析結果との比較による検証.....	21
3.5.4 妥当性確認.....	25
3.5.5 評価結果.....	25

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）SLAP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
VI-2-2-5	復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-6	復水貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-13	軽油タンク室の地震応答計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-14	軽油タンク室の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-15	軽油タンク室 (H) の地震応答計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-16	軽油タンク室 (H) の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-18	ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-19	軽油タンク連絡ダクトの地震応答計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-26	排気筒基礎の耐震性についての計算書	Ver. 6. 65
VI-2-2-27	排気筒連絡ダクトの地震応答計算書	Ver. 6. 64, Ver. 6. 65
VI-2-10-2-6-1-1	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側) の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-10-2-6-1-2	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-13-2	地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-13-4	地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-13-5	地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書	Ver. 6. 64
VI-3-別添 3-2-5-1-1	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側) の強度計算書	Ver. 6. 64
VI-3-別添 3-2-5-1-2	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の強度計算書	Ver. 6. 64

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SLAP
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析，静的フレーム解析 3次元有限要素法（線形シェル要素，非線形シェル要素，線形ソリッド要素）による静的解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1998年
使用したバージョン	Ver. 6.64, Ver. 6.65
コードの概要	<p>SLAP（以下「本解析コード」という。）は，2次元，3次元問題に適用可能で，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。</p> <p>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ことができる。</p> <p>本解析コードは，土木・建築分野において使用される要素群，材料非線形解析モデルを数多くサポートしており，日本国内において，官公庁，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>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2次元有限要素法による地震応答解析における地盤の非線形モデルの検証として，室内試験におけるせん断弾性係数及び減衰定数両方の非線形特性を再現できることを確認している。 ・ 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問題について，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。 ・ はり要素による，応力解析を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・ 平板要素による応力解析の検証として，非線形平板要素を用いた解析結果が実験結果とおおむね一致することを確認している。 ・ 3次元ソリッド要素による応力解析の検証として，3次元有限要素法による応力解析を行い，解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、国内の土木・建築分野における使用実績を有しており、十分に妥当性が確認されている。 ・屋外重要土木構造物を模した実験体を用いた大型振動台実験結果と地震応答解析結果がおおむね一致していることを確認している。 ・本工事計画において、本解析コード (Ver. 6.64) は2次元有限要素法による地震応答解析、応力解析及び3次元有限要素法による応力解析に適用性があることを検証している。 ・バージョンの更新により機能の追加が図られたが、今回使用したバージョン (Ver. 6.65) と検証されたバージョン (Ver. 6.64) で使用する機能は同じである。 ・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次元有限要素法による地震応答解析、3次元有限要素法による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・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、検証の結果をもって、解析機能の妥当性も確認できる。 ・本工事計画で使用する2次元有限要素法による地震応答解析、3次元有限要素法による応力解析の用途、適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	---

3. SLAP の解析手法について

3.1 一般事項

本資料は、解析コード SLAP（以下「本解析コード」という。）の概要である。本解析コードは、2次元及び3次元問題に適用可能で、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。2次元及び3次元の応力解析や、地盤－構造物連成系の相互作用解析を考慮した地震応答解析が可能であり、建物・構築物及び屋外重要構造物に対する応力解析、地震応答解析に使用している。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードは、複合非線形（材料非線形と幾何学的非線形）を考慮できる静的・動的解析システムである。主な特徴を以下に示す。

- ・2次元及び3次元有限要素解析プログラムである。
- ・3次元ソリッド要素，2次元ソリッド要素，平板要素，はり要素，バネ・マス・ダンパー要素，剛体要素を用いることができる。
- ・2次元及び3次元の応力解析を行うことができる。
- ・地盤－構造物の連成による相互作用を考慮した地震応答解析を行うことができる。
- ・静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。
- ・地盤及び構造物の非線形性を考慮した解析を行うことができる。
- ・地盤の非線形性については，修正 HD モデル，修正 GHE モデル等を用いた平面ひずみ要素が使用できる。
- ・鉄筋コンクリートの非線形性については，コンクリート及び鉄筋の材料非線形を考慮したファイバー要素，非線形平板要素等が使用できる。

3.3 解析手法

3.3.1 支配方程式

多自由度系の非線形支配方程式は次式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + \{F\} = \{R\} \quad \text{式 (1)}$$

ここで,

$[M]$: 質量マトリクス

$[C]$: 減衰マトリクス

$\{F\}$: 要素内力ベクトル

剛性マトリクス $[K]$ が線形の場合 $\{F\} = [K]\{u\}$

$[K]$: 剛性マトリクス

$\{\ddot{u}\}$: 相対加速度ベクトル

$\{\dot{u}\}$: 相対速度ベクトル

$\{u\}$: 相対変位ベクトル

$\{R\}$: 外力ベクトル

$$\{R\} = -\sum_{i=1}^n [M]\{v_i\}\ddot{\alpha}_i + \{R_f\}$$

$\ddot{\alpha}_i$: i 方向の入力地震加速度

n : 入力地震動作用方向数

$\{v_i\}$: i 方向に対応する自由度に 1 を立てた入力地震動方向ベクトル

$\{R_f\}$: 入力地震加速度以外の外力ベクトル

なお, 静的解析の場合は, $[M]=0$ $[C]=0$ であり, $\{u\}$ は絶対変位となる。

3.3.2 静的解析

式(1)より、荷重ステップ t から荷重ステップ $t + \Delta t$ の増分ステップにおける支配方程式は次式となる。

$$\begin{aligned}
 [{}^{t+\Delta t}K^{(i-1)}]\{\Delta u^{(i)}\} &= \{{}^{t+\Delta t}R\} - \{{}^{t+\Delta t}F^{(i-1)}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}u^{(i)}\} &= \{{}^{t+\Delta t}u^{(i-1)}\} + \{\Delta u^{(i)}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}u^{(0)}\} &= \{{}^t u\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}F^{(0)}\} &= \{{}^t F^{(0)}\}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

ここで、 Δt は増分インデックス、 (i) は収束計算回数を示す。

これを用い式(1)を満足するようにニュートンラプソン法により収束計算を行う。

3.3.3 時刻歴応答解析

時刻歴応答解析には、ニューマーク β 法($\beta=1/4$)による直接積分法を用いる。式(1)より、収束計算で用いる時刻 $t + \Delta t$ における支配方程式は次式となる。

$$\begin{aligned}
 [M]\{{}^{t+\Delta t}\ddot{u}^{(i)}\} + [C]\{{}^{t+\Delta t}\dot{u}^{(i)}\} + [{}^{t+\Delta t}K^{(i-1)}]\{\Delta u^{(i)}\} &= \{{}^{t+\Delta t}R\} - \{{}^{t+\Delta t}F^{(i-1)}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}u^{(i)}\} &= \{{}^{t+\Delta t}u^{(i-1)}\} + \{\Delta u^{(i)}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}\ddot{u}^{(i)}\} &= \frac{4}{\Delta t^2}(\{{}^{t+\Delta t}u^{(i-1)}\} - \{{}^t u\} + \{\Delta u^{(i)}\}) - \frac{4}{\Delta t}\{{}^t \dot{u}\} - \{{}^t \ddot{u}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}\dot{u}^{(i)}\} &= \{{}^t \dot{u}\} + \frac{\Delta t}{2}(\{{}^t \ddot{u}\} + \{{}^{t+\Delta t}\ddot{u}^{(i)}\}) \\
 \{{}^{t+\Delta t}u^{(i)}\} &= \{{}^{t+\Delta t}u^{(i-1)}\} + \{\Delta u^{(i)}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}u^{(0)}\} &= \{{}^t u\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}F^{(0)}\} &= \{{}^t F^{(0)}\}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

ここで、 Δt は時間刻み、 (i) は収束計算回数を示す。

これを用い式(1)を満足するようにニュートンラプソン法により収束計算を行う。

3.4 解析フローチャート

静的解析及び地震応答解析の解析フローチャートを図 3-1 に示す。

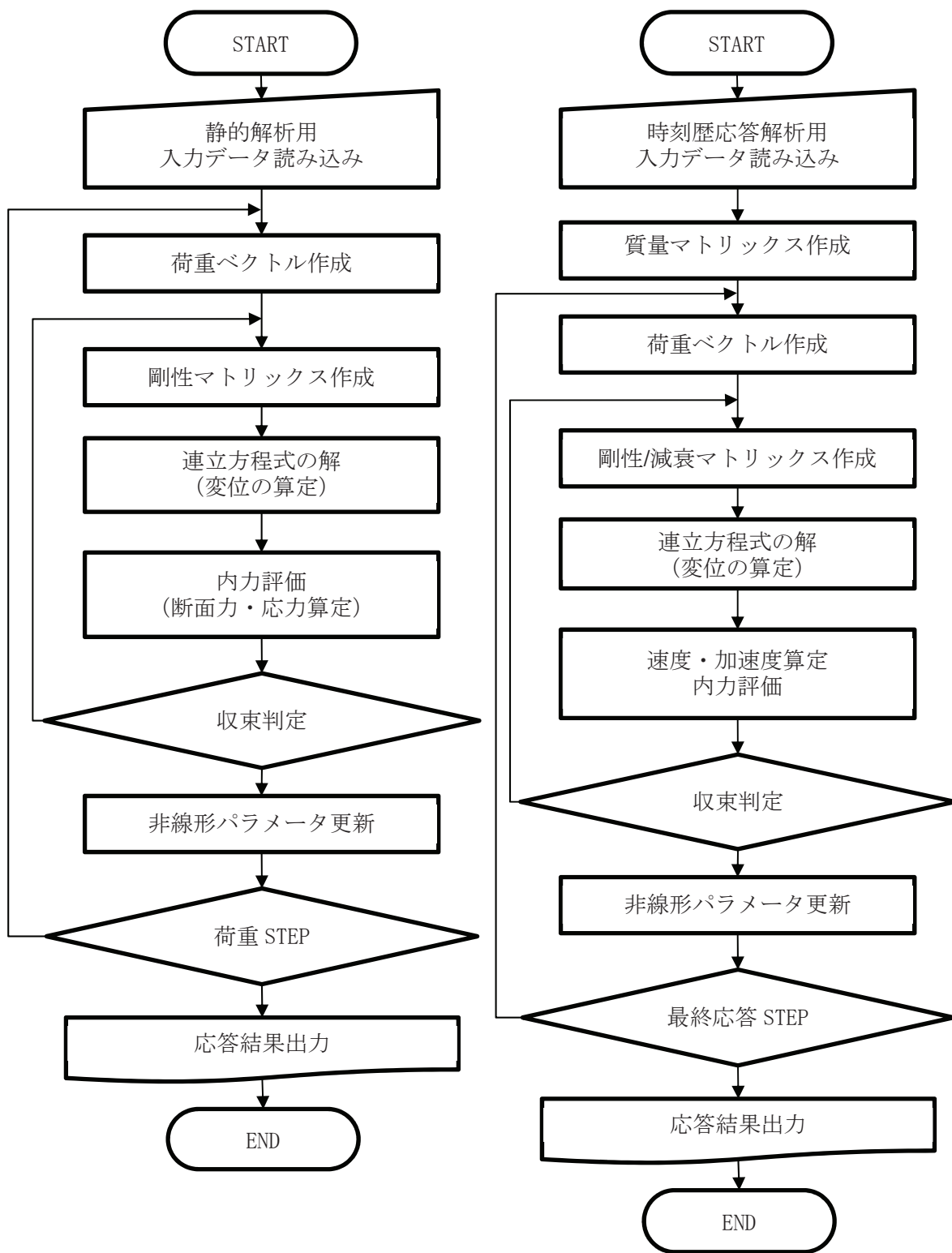


図 3-1 解析フローチャート (左：静的解析，右：地震応答解析)

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

3.5.1 理論解との比較による検証

(1) はり要素

図 3-2 に示す単純ばりに等分布荷重を負荷した静的応力解析を行い，最大たわみ量，最大曲げモーメント及び最大せん断力を理論解と比較する。線形はり要素を用いて確認を行う。

諸元は以下とする。

H 型鋼材 (H-300×300×10×15) の断面諸元

- ・断面積 : $A=0.01184 \text{ m}^2$
- ・断面 2 次モーメント : $I=0.000202 \text{ m}^4$
- ・ヤング係数 : $E=2.0 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$

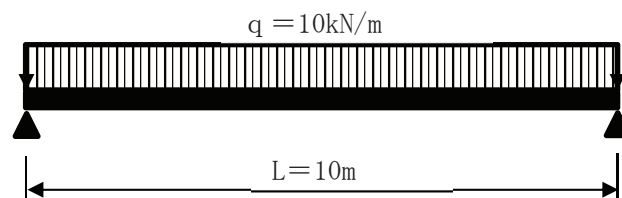


図 3-2 解析モデル

表 3-1 に理論解及び本解析コードによる解析解を示す。理論解と本解析コードによる解析解はおおむね一致することを確認した。

表 3-1 理論解と解析解の比較

	理論解	SLAP 解析解
最大たわみ量 (cm)	3.223	3.223
最大曲げモーメント (kN・m)	125.0	125.0
最大せん断力 (kN)	50.0	50.0

(2) 3次元ソリッド要素

図 3-3 に示す単純ばりに等分布荷重を負荷した静的応力解析を行い，最大たわみ量，最大曲げモーメント及び最大せん断力を理論解と比較する。3次元ソリッド要素を用いて確認を行う。

諸元は以下とする。

- ・梁の長さ : $L = 4,000 \text{ mm}$
- ・梁の高さ : $H = 400 \text{ mm}$
- ・梁の幅 : $B = 200 \text{ mm}$
- ・等分布荷重 : $q = 10.0 \text{ kN/m}$
- ・ヤング係数 : $E = 2.35 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
- ・ポアソン比 : $\nu = 0.2$

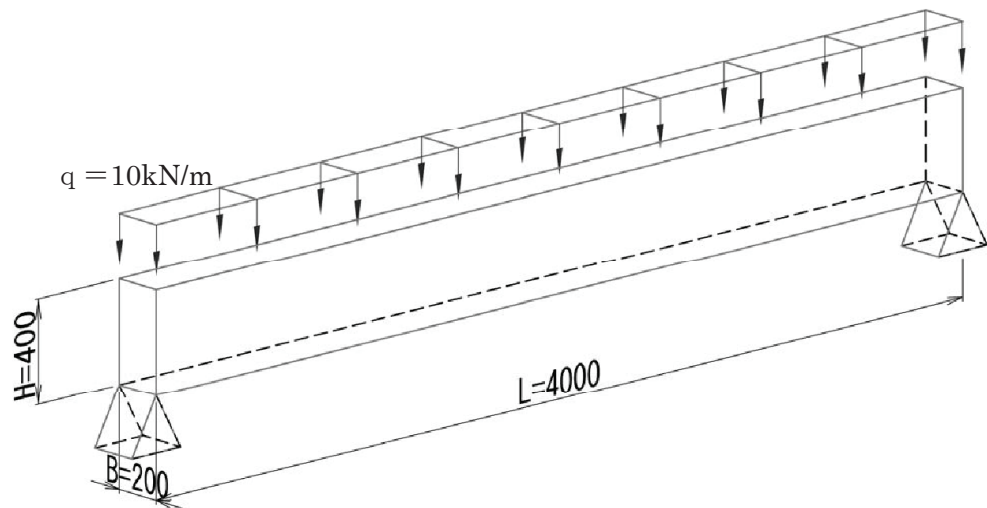


図 3-3 解析モデル

表 3-2 に理論解及び本解析コードによる解析解を示す。理論解と本解析コードによる解析解はおおむね一致することを確認した。

表 3-2 理論解と解析解の比較

	理論解	SLAP 解析解
最大たわみ量 (mm)	1.330	1.340
最大曲げモーメント (kN・m)	20.0	19.7
最大せん断力 (kN)	20.0	20.0

(3) 非線形平面ひずみ要素

地震応答解析に用いる地盤の非線形モデルについて、修正 GHE モデルを適用した平面ひずみ要素に強制変位を与え、得られる応力-ひずみ曲線及び履歴曲線から求めた減衰定数が、設定した条件に整合することを確認する。

a. 解析条件

解析モデルを図 3-4 に示す。要素は平面ひずみ要素とする。

(単位：mm)

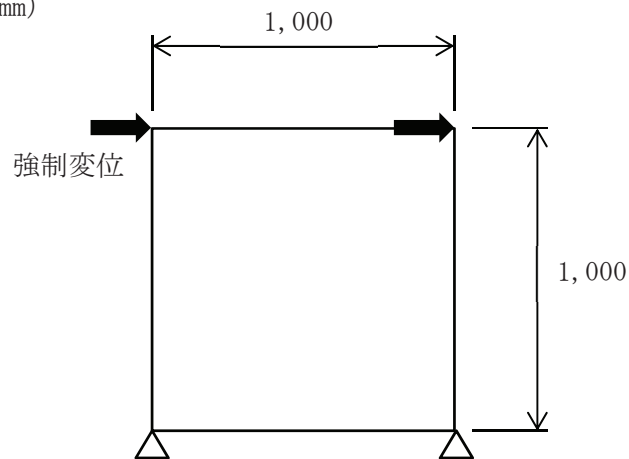


図 3-4 解析モデル

解析用物性値を表 3-3 に示す。

表 3-3 地盤の解析用物性値

	初期せん断弾性係数 (kN/m ²)	ポアソン比
平面ひずみ要素	7.50×10^3	0.30

平面ひずみ要素の非線形特性は、修正 GHE モデルにて与える。修正 GHE モデルのパラメータを表 3-4 及び表 3-5 に示す。また、解析モデルに与える強制変位波形を図 3-5 に示す。

表 3-4 修正 GHE モデルのパラメータ (1/2)

	修正 GHE モデルのパラメータ				
	基準ひずみ γ_r	$C_1(0)$	$C_1(\infty)$	$C_2(0)$	$C_2(\infty)$
平面ひずみ要素	3.50×10^{-4}	1.00	0.20	0.45	1.00

表 3-5 修正 GHE モデルのパラメータ (2/2)

	修正 GHE モデルのパラメータ			
	α	β	h_{\max}	β_1
平面ひずみ要素	1.776	1.859	0.22	1.00

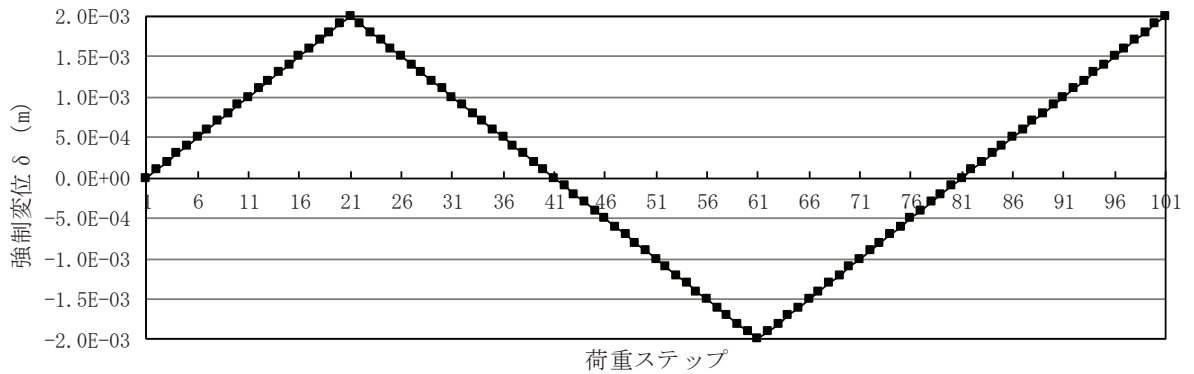


図 3-5 強制変位波形

b. 検証結果

解析により得られた応力-ひずみ曲線と、設定した修正 GHE モデルに基づく応力-ひずみ曲線の比較を図 3-6 に示す。

解析により得られた応力-ひずみ曲線は、設定したものと一致する。

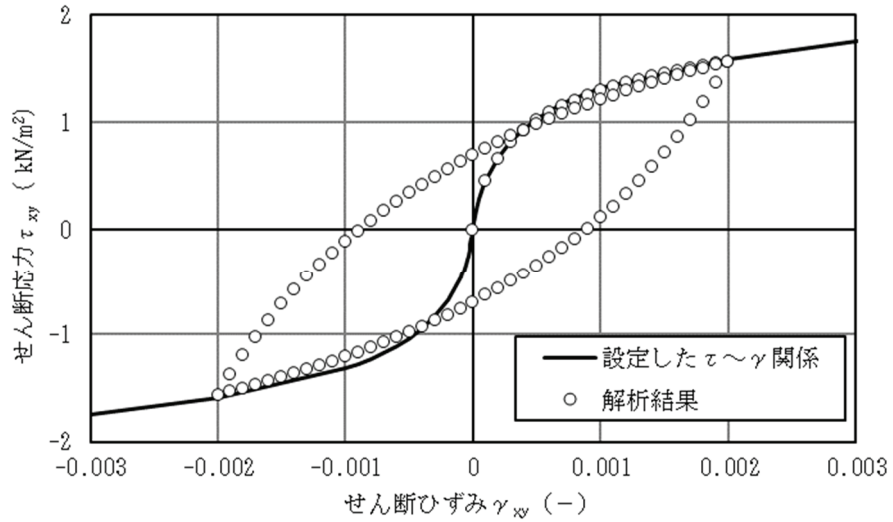


図 3-6 応力-ひずみ曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) の比較

$\tau - \gamma$ 関係の履歴面積から得られる減衰設定と、設定した修正 GHE モデルに基づく減衰定数の比較を表 3-6 に示す。

解析により得られた減衰定数は、設定したものと一致する。

表 3-6 減衰定数の比較

減衰定数		①/②
①解析値	②設定値	
0.19660	0.19676	0.99922

3.5.2 実験結果と地震応答解析結果との比較による検証

(1) 大規模加振実験の概要

大規模加振実験では、図 3-7 に示すように RC 二連ボックスカルバート試験体を、せん断土槽体に完全に固定し、乾燥した珪砂にて埋設した。加振時に用いられた入力加速度波形には、1995 年兵庫県南部地震における神戸大学観測波（NS 成分）に基づき、時間縮尺を 1/2 とし、最大加速度振幅を 1000Gal 程度に調整したものをを用いた。RC 供試体の寸法及び配筋を図 3-8 に示す。

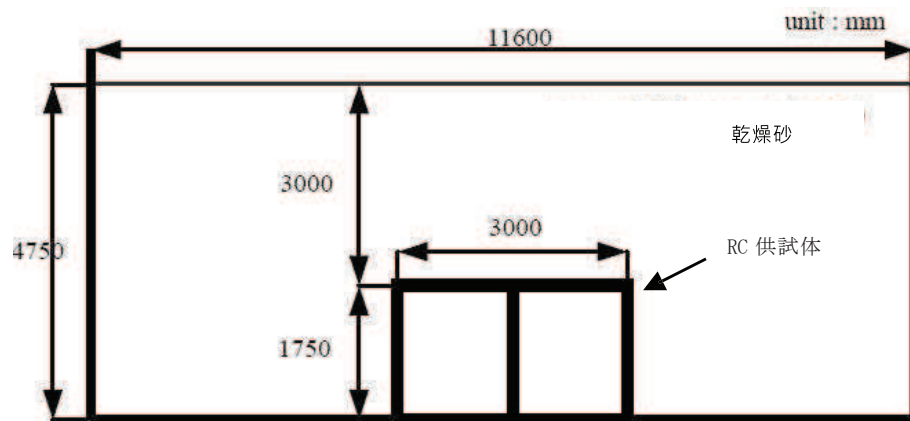


図 3-7 振動台実験の概要

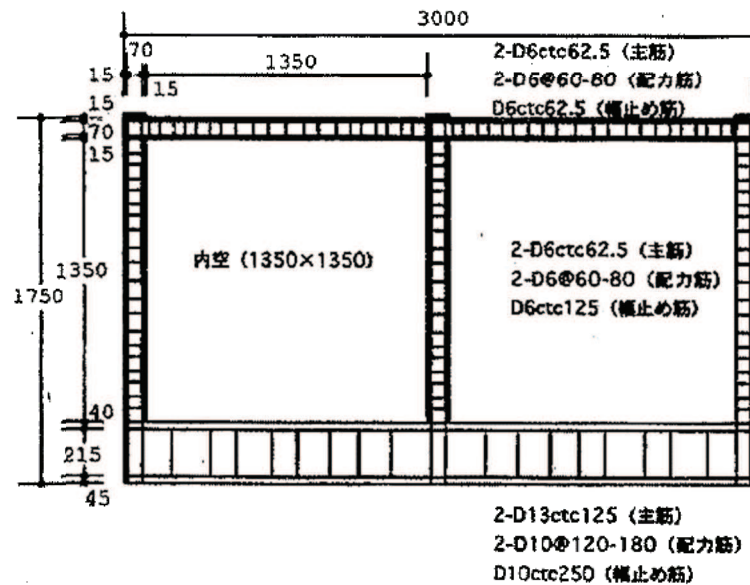


図 3-8 RC 供試体の寸法及び配筋

(2) 解析条件

a. 解析モデルの構成

解析に用いた2次元有限要素分割図を図3-9に示す。モデルは、せん断土槽の寸法(幅 11.6m, 高さ 4.75m)とし、地盤の側方境界には、動の実験時に生じる土槽枠の慣性力の影響を考慮した単位奥行き長さ相当の質量を付加した。側方境界部では、同じ深度にある左右の境界節点の水平・鉛直変位が等しくなるように制御した。

構造物と地盤の境界にはジョイント要素を設ける。

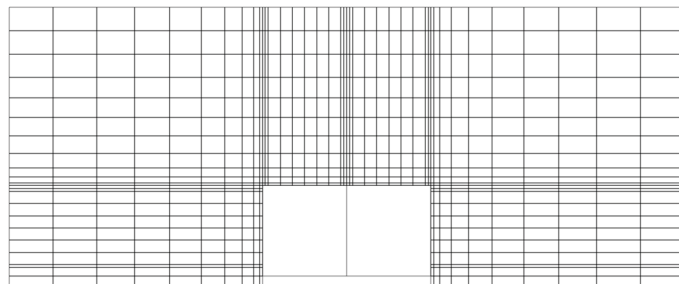


図 3-9 2次元有限要素分割図

b. 地盤のモデル化

地盤はダイラタンシーを考慮しない全応力・履歴依存型の修正 HD モデルを用いた。

$$\tau = \frac{Go \gamma}{1 + \frac{Go \gamma}{\tau_m}} \tag{式(4)}$$

$$\tau_m = Go \gamma_m \tag{式(5)}$$

ここに,

- τ : せん断応力
- γ : せん断ひずみ
- Go : 初期せん断弾性係数
- τ_m : せん断強度
- γ_m : 基準ひずみ

地盤の中空ねじり試験と修正 HD モデルで計算した G/Go , $h-\gamma$ の関係を図 3-10 に示す。

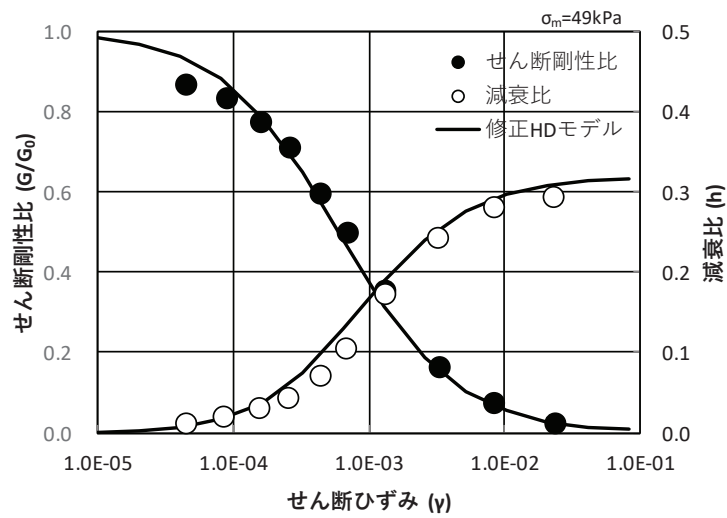


図 3-10 地盤の動的変形特性と修正 HD モデル

c. RC 部材のモデル化

RC 部材はファイバーモデルの非線形はり要素でモデル化する。ファイバーモデルは、図 3-11 に示すように線材要素の断面を層状に分割し、各層（ファイバー）が平面保持をして変形し、分割した個々のファイバー内では応力・ひずみが一定のモデルである。各ファイバーは当該材料の非線形性を考慮することができる。

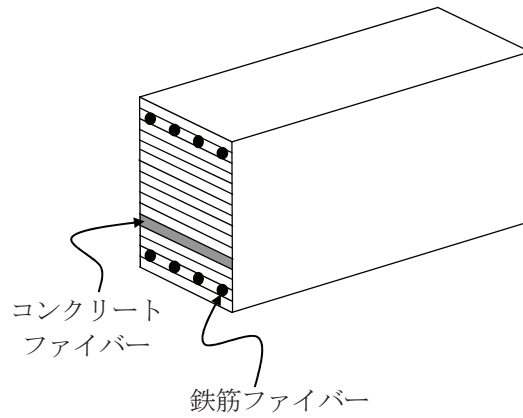


図 3-11 ファイバーモデルによる部材のモデル化

(3) 実験と解析の比較

a. 地盤-構造物全体系の変形挙動

地盤の側方境界における最大水平変位の深度分布を図 3-12 に示す。本計算機コードによる解析解は実験値とおおむね一致している。

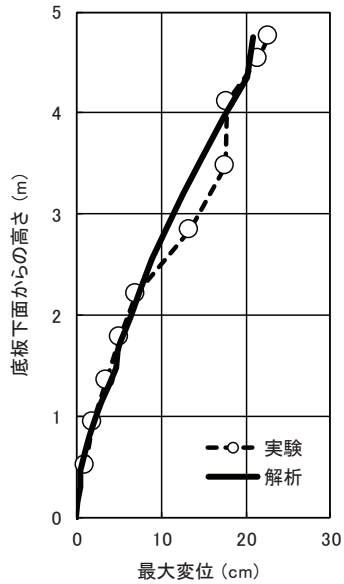


図 3-12 水平方向最大変位の深度分布

b. 層間変位

構造物の内空空間の確保を直接照査する層間変位について、その時刻歴の比較を図 3-13 に示す。本計算機コードによる解析解は実験値とおおむね一致している。

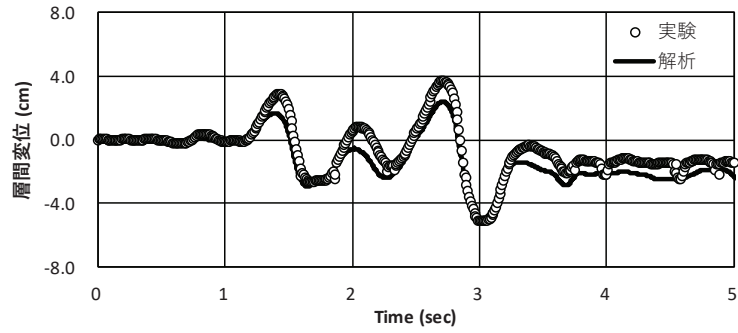


図 3-13 時刻歴層間変位

c. 応答加速度

構造物頂版中央部の時刻歴応答加速度の比較を図 3-14 に示す。本計算機コードによる解析解は実験値とおおむね一致している。

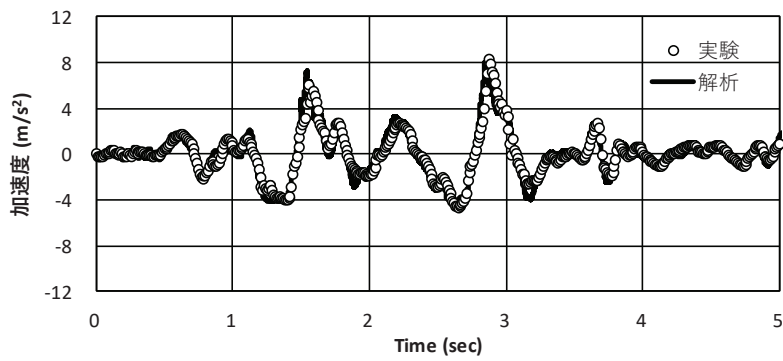


図 3-14 構造物頂版中央部の時刻歴応答加速度

d. せん断力

構造物頂版左方部に生じる時刻歴応答せん断力の比較を図 3-15 に示す。本計算機コードによる解析解は実験値とおおむね一致している。

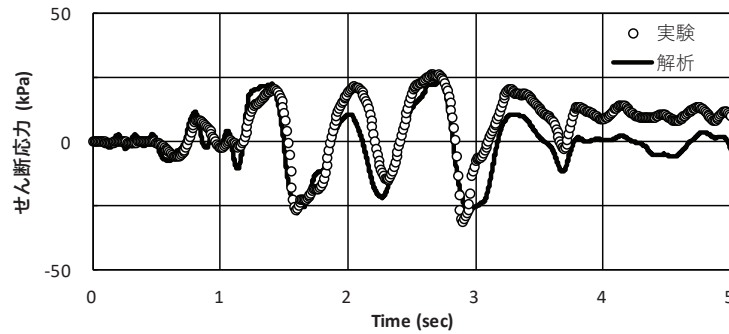


図 3-15 構造物頂版左方部に生じる時刻歴せん断力

参考文献

- 1) 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針〈技術資料〉Ⅱ，土木学会原子力土木委員会，2002年5月
- 2) 鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能照査法の高度化（その1）－地中構造物の塑性変形挙動に関する実験的検討－，電力中央研究所報告，平成14年2月
- 3) 鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能照査法の高度化（その2）－密な乾燥砂地盤・構造物連成系解析における地盤非線形モデルの適用性評価－，電力中央研究所報告，平成15年1月
- 4) 鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能照査法の高度化（その3）－部材非線形モデルを用いた地盤-構造物連成系解析手法の適用性の検証－，電力中央研究所報告，平成15年1月

3.5.3 実験結果と応力解析結果との比較による検証

(1) 非線形平板要素の概要

本解析コードで使用する平板要素は、一般的な Mindlin 平板要素¹⁾を用いており、図 3-16 に示すように、層状に配置された材料の非線形性を考慮できる。

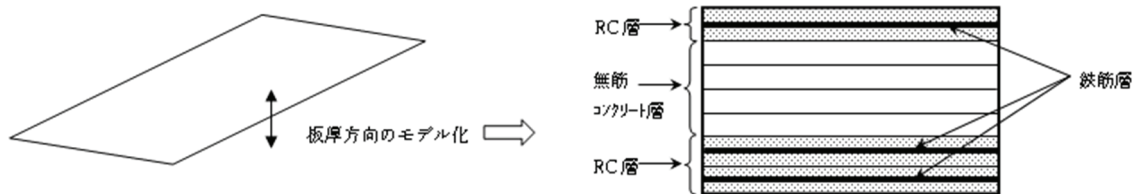


図 3-16 非線形平板要素概念図

層全体の材料特性は、平面応力状態とした各層の材料特性を厚さ方向に積分して評価される。各層の材料特性としては文献²⁾³⁾に示されている鉄筋コンクリート(RC)、無筋コンクリート、鉄筋等の非線形性を考慮できる。

参考文献

- 1) Bathe, K. J., Finite Element Procedures, Prentice-Hall, 1996
- 2) Maekawa, K., Primanmas, A. and Okamura, H., Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, Spon Press, 2003
- 3) コンクリート標準示方書 設計編, 土木学会, 2012

(2) 非線形平板要素の適用性の検証

非線形平板要素は、鉄筋コンクリート部材をコンクリート及び鉄筋の非線形性を考慮した層の集合体としてモデル化する要素である。非線形平板要素を用いた解析の適用性は、単純ばりの荷重－変位関係に対して、本解析コードによる解析結果と実験結果を比較することで検証する。

a. 実験概要

比較対象とする実験の概念図を図3-17に示す。実験では鉄筋コンクリートはりの試験体に対し、試験体天端2点に荷重を作用させ、試験体中央位置での鉛直変位と載荷荷重の関係を確認する。

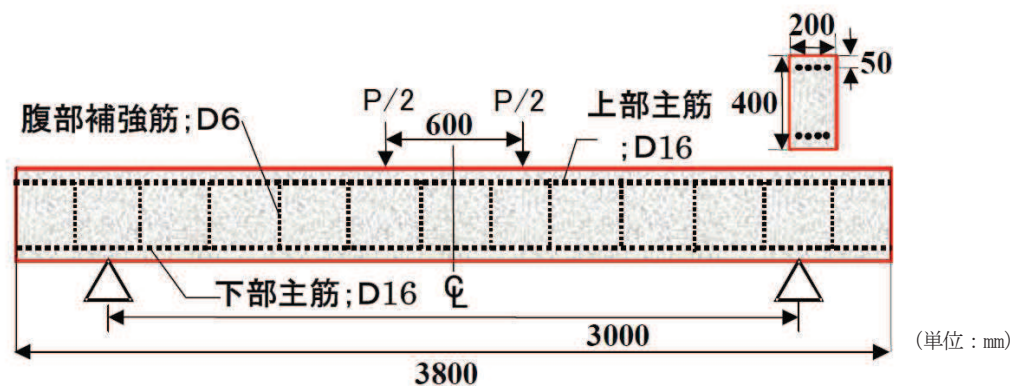


図3-17 実験概念図

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(技術資料)(2005年)より引用)

b. 解析モデル

解析モデルは図 3-18 に基づき、鉄筋コンクリートはりを非線形平板要素でモデル化する。非線形平板要素は 8 層とし、コンクリート部分は、上端 2 層及び下端 2 層は鉄筋との付着を考慮した鉄筋コンクリート層 (RC 層)、中央 4 層は無筋コンクリート層でモデル化し、鉄筋上下の鉄筋位置に鉄筋層を配置する。

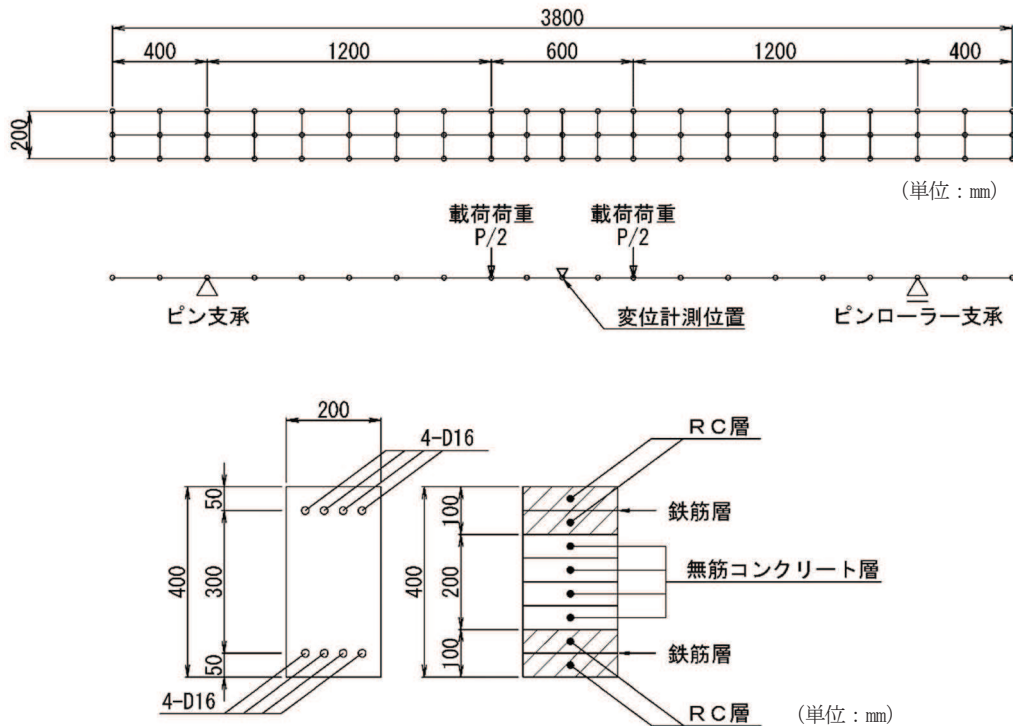


図 3-18 解析モデル図

c. 解析用物性値

解析用物性値を表 3-7 に示す。

表 3-7 解析用物性値 (鉄筋コンクリートはり)

コンクリート	圧縮強度 f'_c (N/mm ²)	45.3
	引張強度 f_t (N/mm ²)	3.7
	ヤング係数 E_c (N/mm ²)	3.06×10^4
鉄筋	降伏強度 f_y (N/mm ²)	344
	ヤング係数 E_s (N/mm ²)	1.94×10^5

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(技術資料)(2005年)より引用)

d. 解析条件

図 3-17 の荷重位置と同様に、図 3-18 に示す荷重位置に荷重し、モデル中央位置における荷重-変位関係を算出する。

e. 結果の検証

実験結果と解析結果の荷重－変位関係の比較を図 3-19 に示す。

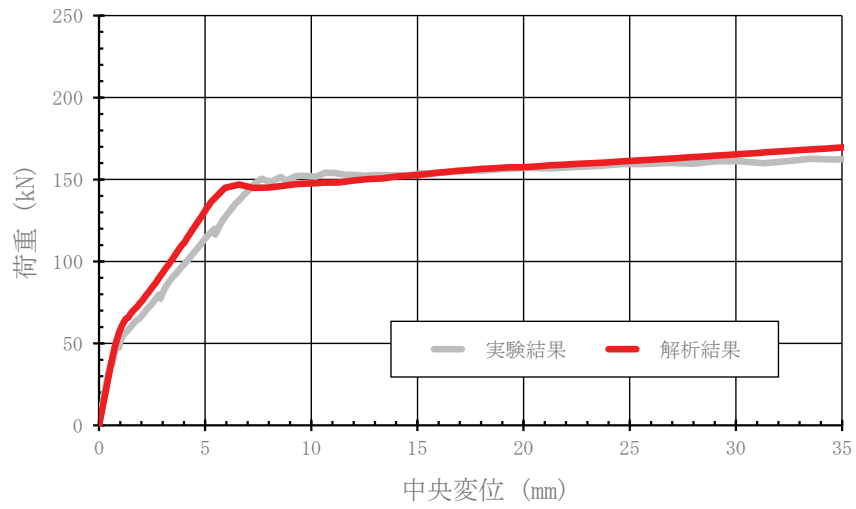


図 3-19 荷重－変位関係の比較

解析結果と実験結果の荷重－変位関係はおおむね一致しており、鉄筋降伏時の荷重もおおむね同等である。以上より、非線形平板要素を用いた解析の適用性を確認した。

3.5.4 妥当性確認

本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。

- ・本解析コードは、国内の土木・建築分野における使用実績を有しており、十分に妥当性が確認されている。
- ・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、検証の結果をもって、解析機能の妥当性も確認できる。
- ・本工事計画で使用する地震応答解析及び応力解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3.5.5 評価結果

以上の検証結果及び妥当性確認結果により、本解析コードを、建物・構築物及び屋外重要土木構造物の地震応答解析及び応力解析に使用することは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0040_改0
提出年月日	2021年2月24日

VI-5-33 計算機プログラム（解析コード）の概要

- ・ Ark Quake

2021年2月

東北電力株式会社

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. Ark Quake 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
3.5.1 検証 (Verification)	9
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	12

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）Ark Quake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
VI-2-2-7	海水ポンプ室の地震応答計算書	ver. 3. 10
VI-2-2-9	第3号機海水ポンプ室の地震応答計算書	ver. 3. 10
VI-2-2-11	原子炉機器冷却海水配管ダクト(水平部)の地震応答計算書	ver. 3. 10
VI-2-2-12-2	原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部)の耐震性についての計算書	ver. 3. 10
VI-2-10-2-3-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼板)の耐震性についての計算書	ver. 3. 10
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の耐震性についての計算書	ver. 3. 10
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書	ver. 3. 10
VI-2-10-2-4-1	取放水路流路縮小工(第1号機取水路)の耐震性についての計算書	ver. 3. 10
VI-2-10-2-4-2	取放水路流路縮小工(第1号機放水路)の耐震性についての計算書	ver. 3. 10
VI-2-10-4-3	取水口の耐震性についての計算書	ver. 3. 10
VI-2-10-4-4-1	取水路(漸拡部)の耐震性についての計算書	ver. 3. 10
VI-2-10-4-4-2	取水路(標準部)の耐震性についての計算書	ver. 3. 10
VI-2-11-2-16	前面護岸の耐震性についての計算書	ver. 3. 10
VI-2-11-2-18	第3号機取水路の耐震性についての計算書	ver. 3. 10
VI-3-別添 3-2-2-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼板)の強度計算書	ver. 3. 10
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の強度計算書	ver. 3. 10
VI-3-別添 3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の強度計算書	ver. 3. 10
VI-3-別添 3-2-3-1	取放水路流路縮小工(第1号機取水路)の強度計算書	ver. 3. 10
VI-3-別添 3-2-3-2	取放水路流路縮小工(第1号機放水路)の強度計算書	ver. 3. 10
VI-3-別添 3-2-4	貯留堰の強度計算書	ver. 3. 10

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	Ark Quake
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動算定
開発機関	株式会社アーク情報システム
開発時期	1995年
使用したバージョン	ver. 3.10
コードの概要	<p>Ark Quake（以下「本解析コード」という。）は1次元重複反射理論に基づく多層地盤の地震応答解析を行う計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードの特徴は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地盤の各層における加速度，応力度，ひずみ度等の伝達関数及び応答波形が求められる。 ・地盤の等価線形解析を行うことができる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる弾性地盤の増幅特性の解析結果が公開文献の理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，動作環境を満足する計算機にインストールして使用していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・入力地震動算定に対して，原子力産業界において1次元重複反射理論に基づく地震応答解析は既工事計画において実績があり，同じ理論に基づく解析コードであるSHAKE-91を用いた1次元地震応答解析を行った解析解と，本解析コードによる解析解を比較したコードベンチマーキングを行った結果，双方の解が一致していることを確認している。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3. Ark Quake の解析手法について

3.1 一般事項

本資料は、地盤応答解析を行う解析コード Ark Quake ver3.10 の概要である。

本解析コードは、日本国内の原子力施設の工事計画認可申請に多くの利用実績のある解析コードであり、地盤応答解析（入力地震動の評価）に用いる。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードは、1次元重複反射理論に基づく弾性地盤応答解析ができる解析コードである。

- ① 一次元重複反射理論に基づき、多層地盤の地震応答解析を行う。
- ② 解析結果として、地盤の各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数及び応答波形が求められる。
- ③ 本解析コードは、次の仮定を設けて地震応答解析を行っている。
 - ・ 地盤は、水平方向に半無限に広がっているものとする。（水平成層地盤）
 - ・ 応答は、地震動が解析基盤から鉛直伝播により起こるものとする。
 - ・ 地盤物性は、各層の単位体積重量、せん断波速度（又はせん断弾性係数）、ポアソン比及び減衰定数を入力することで定義する。
- ④ 等価線形解析を行うことができる。

3.3 解析手法

解析理論において、図 3-1 に示す線形粘弾性系を通過するせん断波による応答を考える。各層は、均質、等方性であり、厚さ h 、密度 ρ 、せん断弾性係数 G 及び臨界減衰比 β で定義される。

図 3-1 に示される系を通過するせん断波の伝播は、水平変位 $u = u(x, t)$ による以下の式で表わされる。

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

ここで、

η : 粘性係数

水平変位 $u = u(x, t)$ を、以下の (2) 式で表わされる振動数 ω に対する調和振動と考える。

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

ここで、

i : 虚数単位

(2) 式は、波動方程式の一般解として (3) 式で表わされる。

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

$$k = \sqrt{\frac{\rho\omega^2}{G+i\omega\eta}} = \sqrt{\frac{\rho\omega^2}{G^*}} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

E, F : 積分定数

G^* : 複素剛性

(3) 式の第一項は、 X のマイナス方向（上向き）に伝わる入射波を示し、第二項は X のプラス方向（下向き）に伝わる反射波を示している。

ここで、任意の m 層と $(m+1)$ 層の変位とせん断応力との連続性を考え、更に自由面ではせん断応力 $\tau = 0$ の境界条件を導入し、以下の関係を導く。

$$E_m = c_m(\omega) E_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$F_m = f_m(\omega) F_1 \dots\dots\dots (6)$$

伝達関数 e_m 及び f_m は、それぞれ E_1 及び F_1 に対する倍率であり、 $E_1 = F_1 = 1$ を上式に代入すれば決まるものである。

他の伝達関数は、 e_m 及び f_m から得られ、 n 層及び m 層表面での変位を関連づける伝達関数

$A_{n,m}$ は次のように定義する。

$$A_{n,m}(\omega) = u_m / u_n \dots\dots\dots (7)$$

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{e_n(\omega) + f_m(\omega)}{e_n(\omega) + f_n(\omega)} \dots\dots\dots (8)$$

これらの式より、伝達関数 $A(\omega)$ は、系のいかなる2つの層の間においても定められる。
伝達関数が定まれば、複素フーリエ変換により入力動のフーリエスペクトル $F(f)$ を求め、それに伝達関数 $A(f)$ を乗じてフーリエスペクトル $R(f)$ を算定し、それを複素フーリエ逆変換することにより時刻歴応答が求まる。

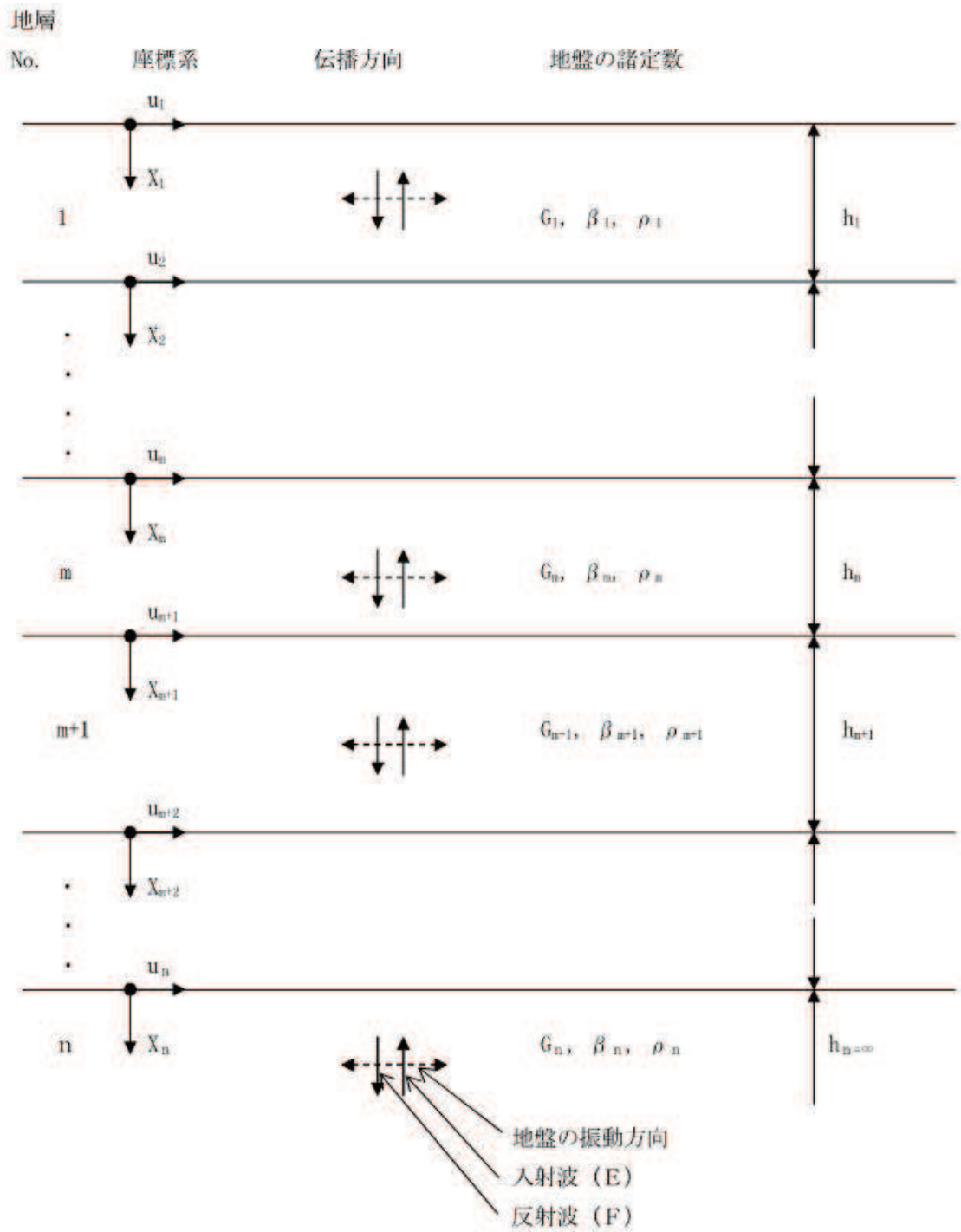
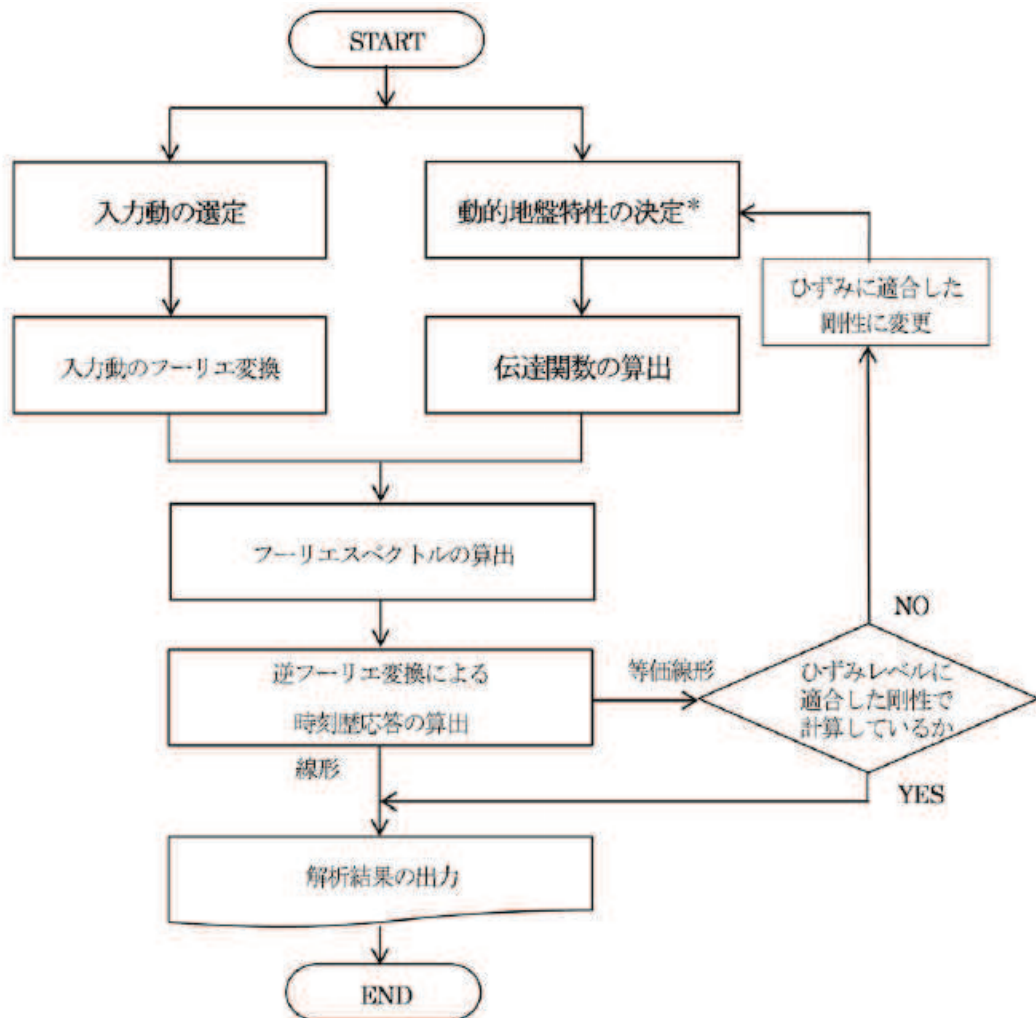


図 3-1 1次元地盤の波動伝播

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-2 に示す。



注記 * : 入力データとして単位体積重量, せん断弾性係数及び等価線形法に用いる $G-\gamma$ 関係を選定する。

図 3-2 解析フローチャート

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

本コードは、「3.3 解析手法」に示した一般性のある理論モデルに基づき構築された解析コードであり、「3.4 解析フローチャート」に示したプログラム構造を持っている。本解析コードは、日本国内の数多くの原子力施設の工事計画における解析に使用された実績があるため、解析機能全般について十分な妥当性が確認されている。

こうした特徴を踏まえ、今回の解析機能に特化する形で、公開文献*1により求めた理論解（以下「理論解」という。）と本解析コードによる解析解を比較するとともに、複素応答と一次元重複反射理論に基づき構築された世界各国で用いられている類似解析コードである SHAKE - 91*2 とのコードベンチマークにより、本解析コードの解析機能の適切さを確認している。

[注記]

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

*2：SHAKE - 91 は、米国カルフォルニア州立大学バークレイ校が有償配布している複素応答と重複反射理論に基づいた一次元地盤の等価線形解析コードであり、世界各国で広く用いられている「SHAKE」の最新バージョンである。

3.5.1 検証 (Verification)

(1) 検証方法

2 層の弾性モデル地盤を対象として、本解析コードによる解析解と理論解による結果が一致することを確認する。

(2) 解析条件

解析条件及び解析モデルを図 3-3 に示す。地盤減衰は、履歴減衰として 0%と 5%の二種とする。

(3) 検証結果

本解析コードによる加速度伝達関数を理論解による加速度伝達関数と比較して図 3-4 及び表 3-2 に示す。本解析コードと理論解の解析結果は同一条件、同一手法による結果であり、両者はおおむね一致していることから、本解析コードが正しく評価していることが確認できる。

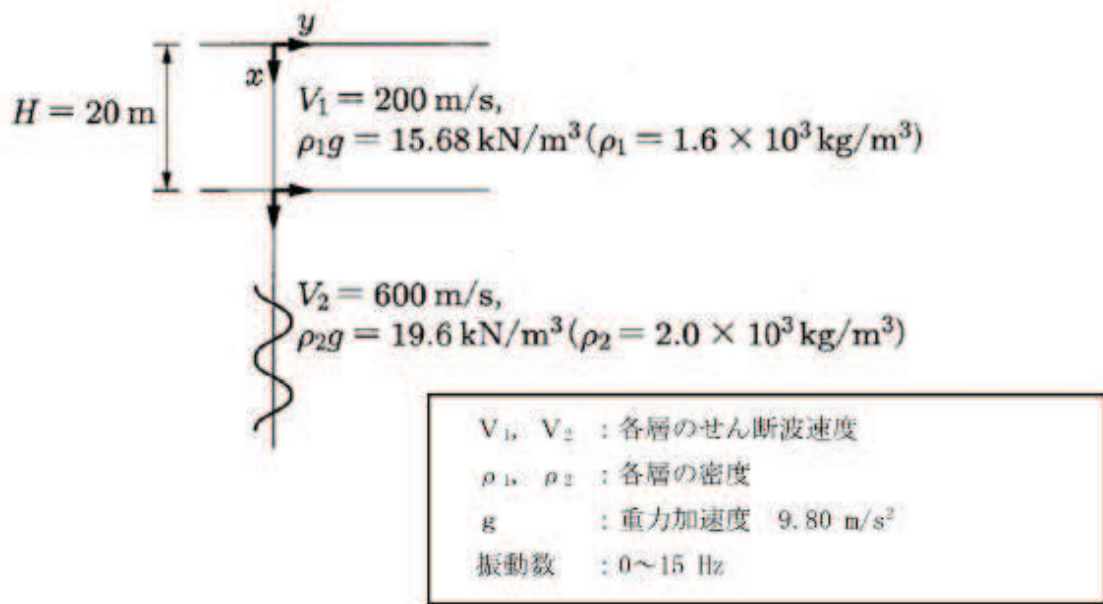


図 3-3 解析条件及び解析モデル

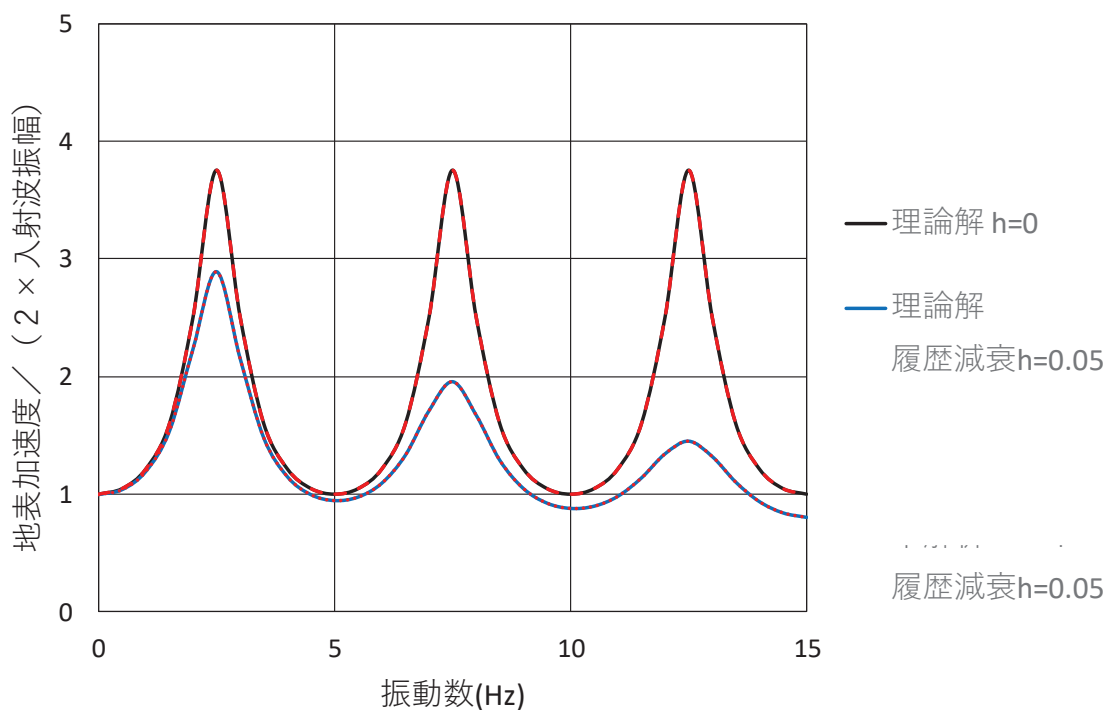


図 3-4 本解析コードと理論解による加速度伝達関数の比較 (地表面/基盤層)

表 3-2 本解析コードと理論解による加速度伝達関数の比較

振動数 (Hz)	h=0			h=0.05		
	理論解	本解析コード	理論解/ 本解析コード	理論解	本解析コード	理論解/ 本解析コード
0.0	1.0000	1.0000	1.000	1.0000	1.0000	1.000
0.5	1.0475	1.0475	1.000	1.0423	1.0423	1.000
1.0	1.2135	1.2135	1.000	1.1962	1.1962	1.000
1.5	1.5971	1.5971	1.000	1.5385	1.5385	1.000
2.0	2.5015	2.5015	1.000	2.2363	2.2363	1.000
2.5	3.7500	3.7500	1.000	2.8930	2.8930	1.000
3.0	2.5015	2.5015	1.000	2.1532	2.1532	1.000
3.5	1.5971	1.5971	1.000	1.4802	1.4802	1.000
4.0	1.2135	1.2135	1.000	1.1510	1.1510	1.000
4.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9987	0.9987	1.000
5.0	1.0000	1.0000	1.000	0.9488	0.9488	1.000
5.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9789	0.9789	1.000
6.0	1.2135	1.2135	1.000	1.0965	1.0965	1.000
6.5	1.5971	1.5971	1.000	1.3345	1.3345	1.000
7.0	2.5015	2.5015	1.000	1.7119	1.7119	1.000
7.5	3.7500	3.7500	1.000	1.9585	1.9585	1.000
8.0	2.5015	2.5015	1.000	1.6739	1.6739	1.000
8.5	1.5971	1.5971	1.000	1.2909	1.2909	1.000
9.0	1.2135	1.2135	1.000	1.0511	1.0512	1.000
9.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9271	0.9271	1.000
10.0	1.0000	1.0000	1.000	0.8822	0.8822	1.000
10.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9012	0.9012	1.000
11.0	1.2135	1.2135	1.000	0.9849	0.9849	1.000
11.5	1.5971	1.5971	1.000	1.1407	1.1407	1.000
12.0	2.5015	2.5015	1.000	1.3456	1.3456	1.000
12.5	3.7500	3.7500	1.000	1.4534	1.4534	1.000
13.0	2.5015	2.5015	1.000	1.3230	1.3230	1.000
13.5	1.5971	1.5971	1.000	1.1052	1.1052	1.000
14.0	1.2135	1.2135	1.000	0.9400	0.9400	1.000
14.5	1.0475	1.0475	1.000	0.8443	0.8444	1.000
15.0	1.0000	1.0000	1.000	0.8060	0.8060	1.000

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

(1) 妥当性確認方法

水平成層の弾性モデル地盤を対象として、本解析コードによる解析解と類似解析コードである SHAKE - 91 (前述) による結果が一致することを確認する。

(2) 解析条件

解析の諸条件については、地盤モデル諸元を表 3-3、地盤のひずみ依存特性を図 3-5 及び図 3-6 に、入力地震動を図 3-7 に示す。

なお、地盤モデルは、SHAKE - 91 の例題に添付されている等価線形モデルであり、長さは feet、重さは pounds、重力加速度は 32.2 feet/s^2 であることから、表 3-3 には MKS 単位系に変換した数値も併記されている。

また、入力地震動は SHAKE - 91 の例題に添付されている地震波を $0.1g$ (g は重力加速度 9.80665 m/s^2) に規準化したものを用いる。

(3) 妥当性確認結果

本解析コードと SHAKE - 91 による解析結果のうち、地盤の最大加速度分布を図 3-8 に、地盤の等価せん断ひずみ分布を図 3-9 に、地表の加速度応答スペクトルを図 3-10 に示す。

SHAKE - 91 の加速度出力 (重量加速度単位) を重量加速度 $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ を用いて cm/s^2 に変換して比較する。

本解析コードと SHAKE - 91 の解析結果は同一条件、同一手法による結果であり、両者はおおむね一致していることから、本解析コードが正しく評価していることが確認できる。

表 3-3 地盤モデル諸元

区分	層厚 ft	深度 ft	湿潤単位体積重量 kpd/ft ³	せん断波速度 ft/s	減衰定数
砂質土	5	5	0.125	1000	0.05
	5	10	0.125	900	0.05
	10	20	0.125	900	0.05
	10	30	0.125	950	0.05
粘性土	10	40	0.125	1000	0.05
	10	50	0.125	1000	0.05
	10	60	0.125	1100	0.05
	10	70	0.125	1100	0.05
砂質土	10	80	0.130	1300	0.05
	10	90	0.130	1300	0.05
	10	100	0.130	1400	0.05
	10	110	0.130	1400	0.05
	10	120	0.130	1500	0.05
	10	130	0.130	1500	0.05
	10	140	0.130	1600	0.05
	10	150	0.130	1800	0.05
基盤	-	-	0.140	4000	0.01

γ	粘性土G/G ₀	γ	粘性土h
0.0001	1.000	0.0001	0.0024
0.0003	1.000	0.0003	0.0042
0.0010	1.000	0.0010	0.0080
0.0030	0.981	0.0030	0.0140
0.0100	0.941	0.0100	0.0280
0.0300	0.847	0.0300	0.0510
0.1000	0.656	0.1000	0.0980
0.3000	0.438	0.3000	0.1550
1.0000	0.238	1.0000	0.2100
3.0000	0.144	3.1600	0.2500
10.0000	0.110	10.0000	0.2800

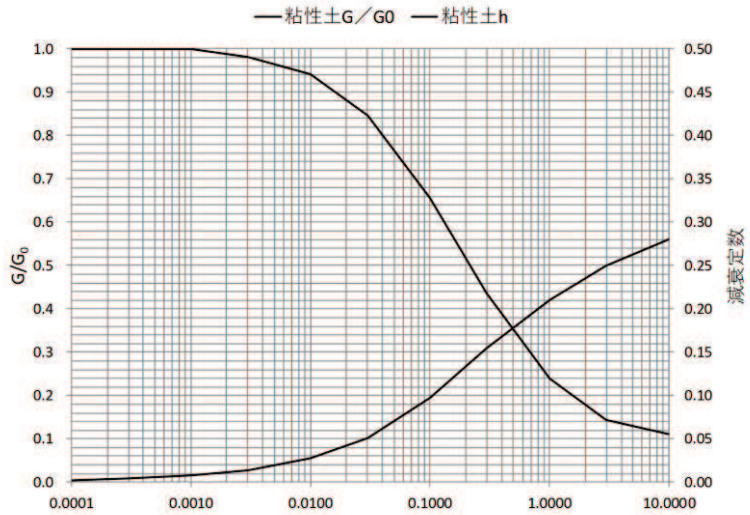


図 3-5 粘性土のひずみ依存特性

γ	砂質土G/G ₀	γ	砂質土h
0.0001	1.000	0.0001	0.0024
0.0003	1.000	0.0003	0.0042
0.0010	0.990	0.0010	0.0080
0.0030	0.960	0.0030	0.0140
0.0100	0.850	0.0100	0.0280
0.0300	0.640	0.0300	0.0510
0.1000	0.370	0.1000	0.0980
0.3000	0.180	0.3000	0.1550
1.0000	0.080	1.0000	0.2100
3.0000	0.050	3.0000	0.2500
10.0000	0.035	10.0000	0.2800

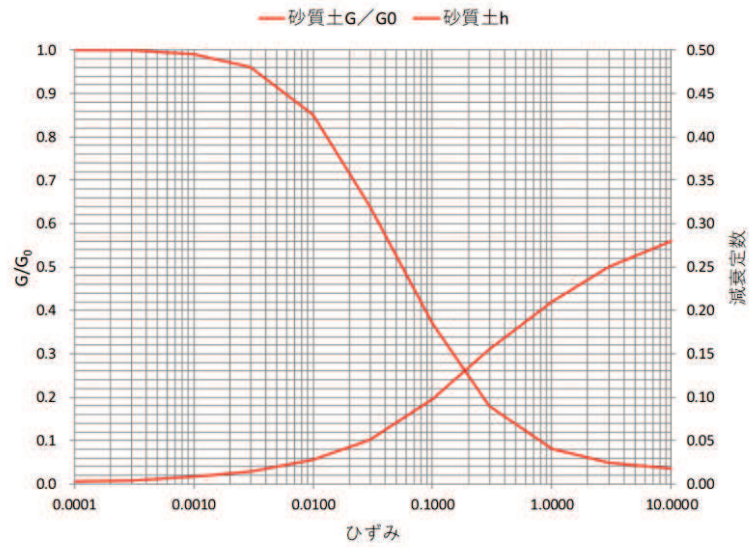


図 3-6 砂質土のひずみ依存特性

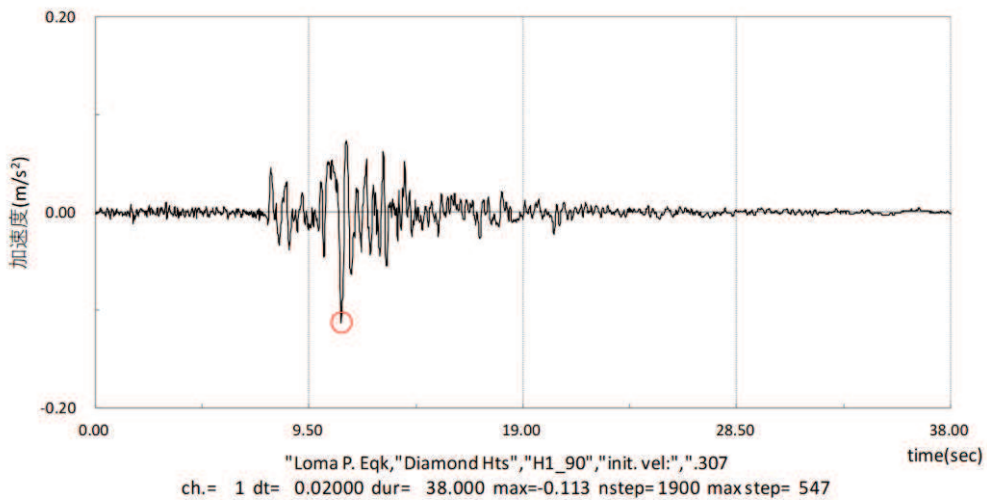


図 3-7 入力地震動

深さ (f t)	SHAKE -91 (G)	SHAKE -91 (cm/s ²)	本解析コード	SHAKE-91/ 本解析コード
0	0.19040	186.7	187.0	0.999
5	0.19006	186.4	186.6	0.999
10	0.18873	185.1	185.3	0.999
20	0.18258	179.0	179.2	0.999
30	0.17209	168.8	168.9	0.999
40	0.15947	156.4	156.4	1.000
50	0.14288	140.1	140.1	1.000
60	0.12653	124.1	124.1	1.000
70	0.11049	108.4	108.5	0.999
80	0.09839	96.5	96.5	1.000
90	0.08997	88.2	88.2	1.001
100	0.08268	81.1	81.1	1.000
110	0.08559	83.9	83.8	1.001
120	0.08546	83.8	83.7	1.001
130	0.08201	80.4	80.4	1.001
140	0.07769	76.2	76.2	1.000
150	0.07616	74.7	74.7	1.000

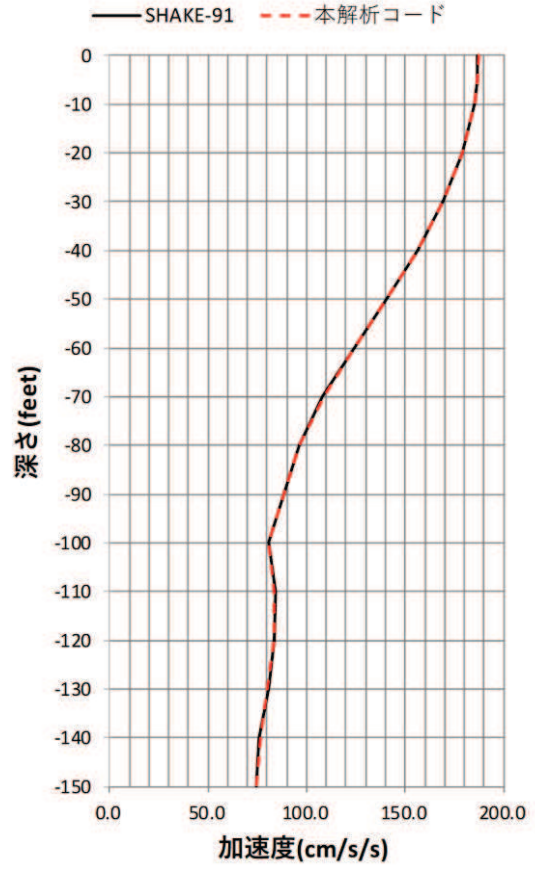


図 3-8 地盤の最大加速度分布

深さ (f t)	SHAKE-91 (G)	本解析コード (cm/s ²)	SHAKE-91/ 本解析コード
0	0.000770	0.000772	0.997
5	0.002955	0.002954	1.000
10	0.006335	0.006332	1.000
20	0.009760	0.009745	1.002
30	0.010990	0.010967	1.002
40	0.014030	0.013993	1.003
50	0.013615	0.013583	1.002
60	0.015660	0.015614	1.003
70	0.013555	0.013515	1.003
80	0.015055	0.015004	1.003
90	0.013355	0.013321	1.003
100	0.014130	0.014089	1.003
110	0.012335	0.012315	1.002
120	0.012815	0.012795	1.002
130	0.011150	0.011133	1.002
140	0.008645	0.008633	1.001

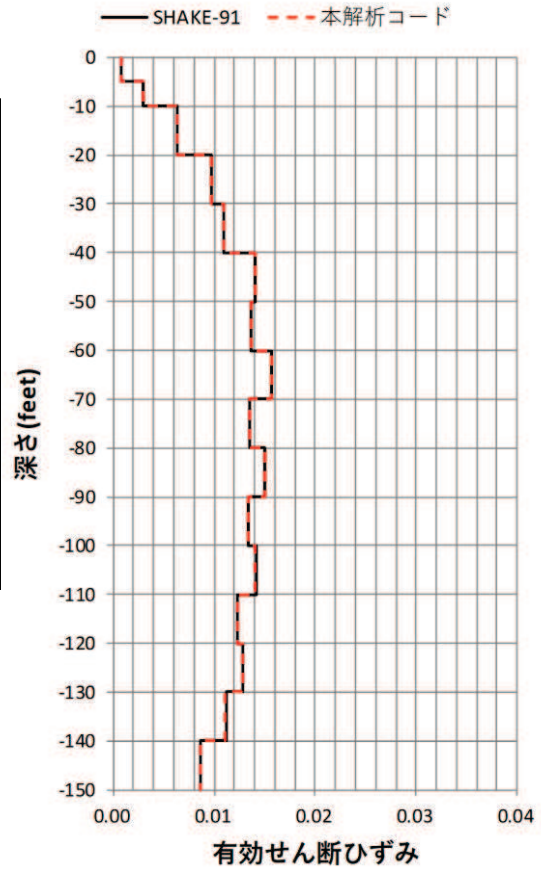


図 3-9 地盤の等価せん断ひずみ分布

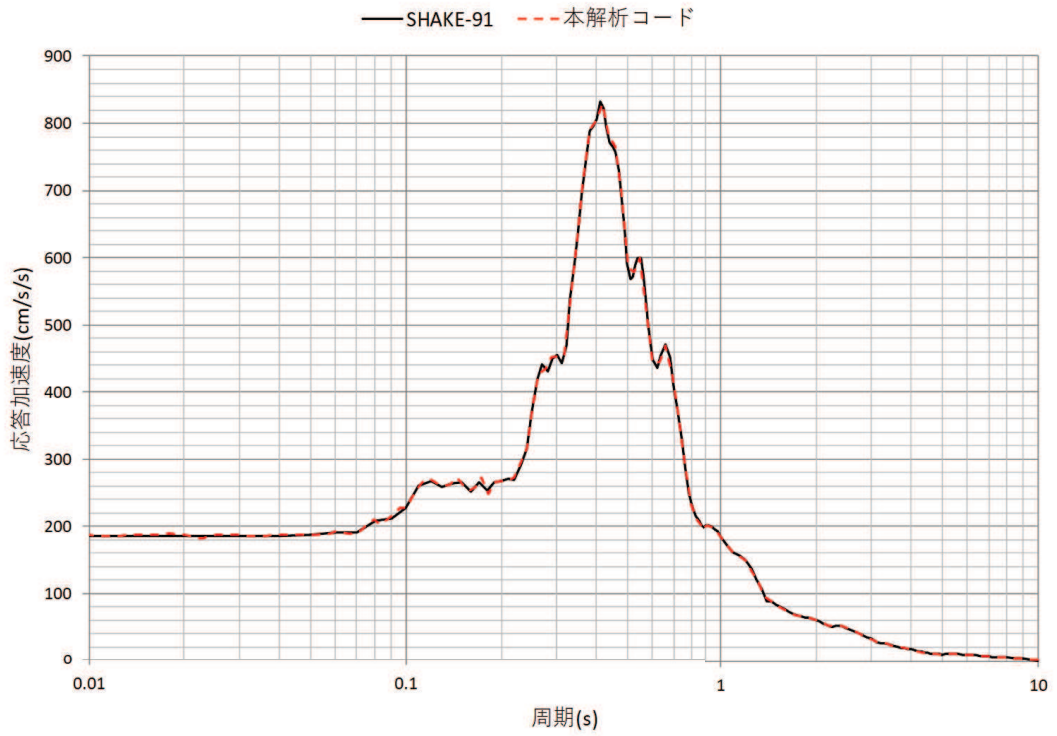


図 3-10 地表の加速度応答スペクトル (h=0.05)

(4) 評価結果

以下の評価結果から、本解析コードを対象とする検討に用いることは妥当である。

- ・ 2層の弾性モデル地盤を対象とした本解析コードの解析解が、公開文献による理論解と一致していることを確認できた。
- ・ 水平成層モデル地盤を対象とした本解析の解析解が、複素応答と次元重複反射理論に基づき構築された類似解析コードである SHAKE - 91 の解析解とおおむね一致することを確認できた。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0041_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-34 計算機プログラム（解析コード）の概要

- Soil Plus

2021年9月

東北電力株式会社

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）Soil Plus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
VI-2-2-7	海水ポンプ室の地震応答計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-2-9	第3号機海水ポンプ室の地震応答計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-2-11	原子炉機器冷却海水配管ダクト(水平部)の地震応答計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-2-12-2	原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部)の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の耐震性についての計算書	Ver. 2019 Build1
VI-2-10-2-3-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼板)の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-10-4-3	取水口の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-10-4-4-1	取水路(漸拡部)の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-10-4-4-2	取水路(標準部)の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-11-2-16	前面護岸の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-3-別添 3-2-2-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼板)の強度計算書	Ver. 2015 Build3
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の強度計算書	Ver. 2015 Build3
VI-3-別添 3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の強度計算書	Ver. 2015 Build3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	Soil Plus
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析 建屋地盤連成モデルの静的及び動的解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2005年
使用したバージョン	Ver. 2015 Build3, Ver. 2019 Build1
コードの概要	<p>Soil Plus（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元の静的・浸透・耐震問題を考慮できる総合的な設計が可能な汎用解析コードである。</p> <p>本解析コードは、土木・建築分野に特化した要素群，材料非線形モデルを数多くサポートしていることが特徴で，日本国内では，建設部門を中心として，官公庁，大学，民間問わず，多くの利用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画において使用する2次元有限要素法による地震応答解析の検証として，実績ある解析コードと地震応答解析結果が一致することを確認している。 ・応力解析の検証として，シェル要素を用いた応力解析を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において，緊急時対策所建屋及び格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答解析及び応力解析に本解析コード（Ver. 2015 Build3）が使用された実績がある。 ・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，本解析コードの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。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 2015 Build3 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。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 2019 Build1 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画において行う有限要素法による地震応答解析の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。
--	---

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0042_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-35 計算機プログラム（解析コード）の概要

・WCOMD Studio

2021年2月

東北電力株式会社

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）WCOMD 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
VI-2-2-12-1	原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震性についての計算書	Ver. 1. 00. 02
VI-2-2-12-2	原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震性についての計算書	Ver. 1. 00. 02

2. 解析コードの概要

コード名 項目	WCOMD Studio
使用目的	2次元有限要素法（非線形平面要素）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	2015年
使用したバージョン	Ver. 1.00.02
コードの概要	<p>WCOMD Studio（以下「本解析コード」という。）は、東京大学コンクリート研究室で開発された、鉄筋コンクリート構造物の2次元有限要素法解析を行う解析コードWCOMDに、株式会社フォーラムエイトがプリ・ポストプロセッサを整備して製品化したものである。</p> <p>コンクリートに関する数多くの実験と理論的検証結果に基づいた高精度の構成則を用いており、ひび割れを生じた様々な鉄筋コンクリート構造物の2次元非線形動的解析・静的解析を行う。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・せん断耐力式によるせん断耐力と解析によるせん断耐力がおおむね一致していることを確認している。また、鉄筋コンクリートはりの載荷試験の結果と解析結果がおおむね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、九州電力株式会社川内原子力発電所において、取水路に使用されている汎用市販コード（UC-win/WCOMD Ver.2）の後継製品であり、本工事計画で使用する鉄筋コンクリートはりと同様の適用をしている。 ・本解析コードは、汎用市販コード（UC-win/WCOMD Ver.2）と比較すると入出力の機能追加が図られたものであり、同一のソルバーを使用しているため、解析結果に影響を及ぼすものではないことを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する2次元非線形有限要素法解析（応力解析）に、本解析コードが適用できることを確認している。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0043_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-36 計算機プログラム（解析コード）の概要
・microSHAKE/3D

2021年2月

東北電力株式会社

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）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
VI-2-2-17	ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震応答計算書	Ver. 2. 3. 3
VI-2-10-2-8-3	浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書	Ver. 2. 3. 1
VI-2-別添 3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 2. 3. 3

2. 解析コードの概要

コード名 項目	microSHAKE/3D
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動算定
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. 2.3.1, Ver. 2.3.3
コードの概要	<p>microSHAKE/3D (1次元波動伝播解析コード) (以下「本解析コード」という。)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>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>①1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 V_s をP波速度 V_p 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>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードについて、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。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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本工事計画の解析に適用することは妥当である。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備等の1次元地震応答解析(入力地震動算定)で本解析コードが使用された実績がある。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 本工事計画において使用するバージョンは, 既工事計画において使用されているものと異なるが, バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。• 本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0044_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-37 計算機プログラム（解析コード）の概要
・TDAPⅢ

2021年9月

東北電力株式会社

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. 3.08.....	3
2.2	TDAPⅢ Ver. 3.10.....	5
2.3	TDAPⅢ Ver. 3.10.01.....	7
2.4	TDAPⅢ Ver. 3.11.....	9
3.	TDAPⅢ Ver. 3.10.01 の解析手法について（2次元有限要素法（非線形はり要素）による静的解析）	11
3.1	一般事項.....	11
3.2	解析コードの特徴.....	11
3.3	解析手法.....	12
3.3.1	2次元非線形ファイバー要素.....	12
3.3.2	支配方程式.....	12
3.3.3	静的解析.....	13
3.4	解析フローチャート.....	14
3.5	検証(Verification)と妥当性確認(Validation).....	15
3.5.1	2次元非線形ファイバー要素の適用性の検証.....	15
3.5.2	妥当性確認.....	18
3.5.3	評価結果.....	18

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
VI-2-2-12-2	原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-2-2-17	ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震応答計算書	Ver. 3. 08
VI-2-2-25	排気筒基礎の地震応答計算書	Ver. 3. 11
VI-2-3-2	炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書	Ver. 3. 10
VI-2-3-3-2-4	炉心シュラウド支持ロッドの耐震性についての計算書	Ver. 3. 10
VI-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 08
VI-2-10-2-3-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-2-10-2-4-1	取放水路流路縮小工（第1号機取水路）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-2-10-2-4-2	取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-2-10-2-6-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 08
VI-2-10-2-8-3	浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書	Ver. 3. 11
VI-2-13-2	地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書	Ver. 3. 11
VI-2-13-3	地下水位低下設備接続柵の耐震性についての計算書	Ver. 3. 11
VI-3-別添 3-2-1-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書	Ver. 3. 08
VI-3-別添 3-2-2-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の強度計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-3-別添 3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の強度計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-3-別添 3-2-5-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度計算書	Ver. 3. 11

2. 解析コードの概要

2.1 TDAPⅢ Ver. 3.08

項目 \ コード名	TDAPⅢ
使用目的	1 次元有限要素法による地震応答解析 2 次元有限要素法による地震応答解析 3 次元骨組み構造（線形はりばねモデル）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
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、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おり、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> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。 ④静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・関西電力株式会社高浜発電所第3号機において、海水ポンプ室、海

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>水管トレンチ，海水取水トンネル，燃料油貯油そう基礎の2次元有限要素法による地震応答解析に本解析コード（Ver. 3.05）が使用された実績がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において，防潮堤（鋼製防護壁）の3次元骨組みモデルによる動的解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは，高浜発電所第3号機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。 ・本工事計画において使用するバージョンは，東海第二発電所の既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画にお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。
--	--

2.2 TDAPⅢ Ver. 3.10

項目	コード名 TDAPⅢ
使用目的	固有値解析，弾塑性地震応答解析，弾性地震応答解析
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. 3.10
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は，2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として，地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また，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おり，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> <p>本解析コードの主な特徴は，以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③線形要素，平面要素，立体要素等を用いることができる。 ④静的解析を引継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは妥当性確認の中で確認している。 ・地震応答解析に対して，既工事計画において実績のある解析コード(NAPP, DYNA 等)を用いた解析解と本解析コードを用いた解析解を比較した結果，双方の解がおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，動作環境を満足する計算機にインストールして用いることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において，建物・構造物，

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>屋外重要土木構造物等の静的応力解析に本解析コード (Ver. 3.08) が使用された実績がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画において使用するバージョンは、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、バージョンの変更点は、機能の追加・修正、計算の効率化である。本工事計画の大型機器連成解析に用いる機能のうち、バージョンアップに伴い一部修正が行われているが、過去バージョンと現バージョンの解析結果の差を比較することで影響がないことを確認している。 ・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。
--	---

2.3 TDAPⅢ Ver. 3.10.01

項目	コード名
使用目的	TDAPⅢ 2次元有限要素法（非線形はり要素）による静的解析 3次元骨組み構造（線形はりばねモデル）による地震応答解析
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. 3.10.01
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、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おり、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> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。 ④静的解析を引継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2次元有限要素法（非線形はり要素）による静的解析については、本解析コードによる非線形はり要素を用いた解析結果と実験結果がおおむね一致することを確認している。 ・3次元骨組み構造（線形はりばねモデル）による地震応答解析については、本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>あるため、信頼性があると判断できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2次元有限要素法（非線形はり要素）による静的解析については、九州電力株式会社川内原子力発電所第1号機において、海水管ダクト堅坑部の2次元骨組み解析に本解析コード（Ver. 3.01）が使用された実績がある。 ・3次元骨組み構造（線形はりばねモデル）による地震応答解析については、日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、防潮堤（鋼製防護壁）の3次元骨組みモデルによる動的解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは、川内原子力発電所第1号機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。 ・本工事計画において使用するバージョンは、東海第二発電所の既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析及び2次元有限要素法による静的解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	---

2.4 TDAPⅢ Ver. 3.11

項目	コード名 TDAPⅢ
使用目的	1 次元有限要素法による地震応答解析 2 次元有限要素法による地震応答解析
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. 3.11
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、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おり、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> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>①2次元及び3次元有限要素プログラムである。</p> <p>②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</p> <p>③線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。</p> <p>④静的解析を引継いだ動的解析を行うことができる。</p> <p>⑤地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・関西電力株式会社高浜発電所第3号機において、海水ポンプ室、海水管トレンチ、海水取水トンネル、燃料油貯油そう基礎の2次元有限要素法による地震応答解析に本解析コード(Ver. 3.05)が使用された実績がある。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・本工事計画において使用するバージョンは、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。・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。
--	--

3. TDAPⅢ Ver. 3.10.01 の解析手法について（2次元有限要素法（非線形はり要素）による静的解析）
3.1 一般事項

TDAPⅢ Ver. 3.10.01 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要素群、材料非線形モデルを多数準備し、FEM のモデル化を容易にしている。

解析対象としては、地盤と構造物の連成モデルの耐震解析に用いられることが多く、高速道路（全体モデル、橋脚、杭基礎等）、橋梁、地下トンネル、上下水道施設、原子力発電所施設、起振実験や静的加力実験等の数値シミュレーション等の解析にも多くの実績がある計算機コードであり、2次元骨組みモデルによる静的解析に用いる。

3.2 解析コードの特徴

- (1) TDAPⅢの解析機能の一例を以下に示す。
 - ・静的解析
 - ・等価減衰行列の作成
 - ・複数固有値解析
- (2) ばね要素、はり要素、平面要素、立体要素等、多くの要素が用意されており、種々のタイプの構造物の解析を行うことができる。
- (3) 多自由度を有する大規模問題を効率よく解析することができる。
- (4) 大規模問題を取り扱うために、入力データが簡素化されている。
- (5) 解析する座標系及び拘束方法は、取り扱う問題にあったものを選ぶことができる。

3.3 解析手法

3.3.1 2次元非線形ファイバー要素

RC 部材はファイバーモデルの非線形はり要素でモデル化する。ファイバーモデルは、図 3-1 に示すように線材要素の断面を層状に分割し、各層（ファイバー）が平面保持をして変形し、分割した個々のファイバー内では応力・ひずみが一定のモデルである。各ファイバーは当該材料の非線形性を考慮することができる。

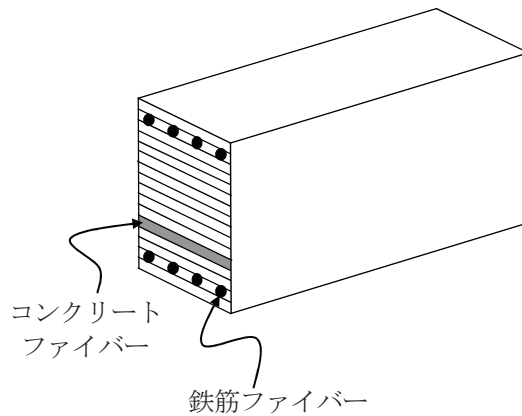


図 3-1 ファイバーモデルの概念図

3.3.2 支配方程式

多自由度系の非線形支配方程式は次式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + \{F\} = \{R\} \quad \text{式 (1)}$$

ここで、

$[M]$: 質量マトリクス

$[C]$: 減衰マトリクス

$\{F\}$: 要素内力ベクトル

剛性マトリクス $[K]$ が線形の場合 $\{F\} = [K]\{u\}$

$[K]$: 剛性マトリクス

$\{\ddot{u}\}$: 相対加速度ベクトル

$\{\dot{u}\}$: 相対速度ベクトル

$\{u\}$: 相対変位ベクトル

$\{R\}$: 外力ベクトル

$$\{R\} = - \sum_{i=1}^n [M]\{v_i\}\ddot{\alpha}_i + \{R_f\}$$

$\ddot{\alpha}_i$: i 方向の入力地震加速度

n : 入力地震動作用方向数

$\{v_i\}$: i 方向に対応する自由度に1を立てた入力地震動方向ベクトル

$\{R_f\}$: 入力地震加速度以外の外力ベクトル

なお、静的解析の場合は、 $[M]=0$ $[C]=0$ であり、 $\{u\}$ は絶対変位となる。

3.3.3 静的解析

式(1)より、荷重ステップ t から荷重ステップ $t + \Delta t$ の増分ステップにおける支配方程式は次式となる。

$$\begin{aligned} \left[{}^{t+\Delta t}K^{(i-1)} \right] \{ \Delta u^{(i)} \} &= \{ {}^{t+\Delta t}R \} - \{ {}^{t+\Delta t}F^{(i-1)} \} \\ \{ {}^{t+\Delta t}u^{(i)} \} &= \{ {}^{t+\Delta t}u^{(i-1)} \} + \{ \Delta u^{(i)} \} \\ \{ {}^{t+\Delta t}u^{(0)} \} &= \{ {}^t u \} \\ \{ {}^{t+\Delta t}F^{(0)} \} &= \{ {}^t F^{(0)} \} \end{aligned} \tag{2}$$

ここで、 Δt は増分インデックス、 (i) は収束計算回数を示す。

これを用い式(1)を満足するようにニュートンラプソン法により収束計算を行う。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-4 に示す。

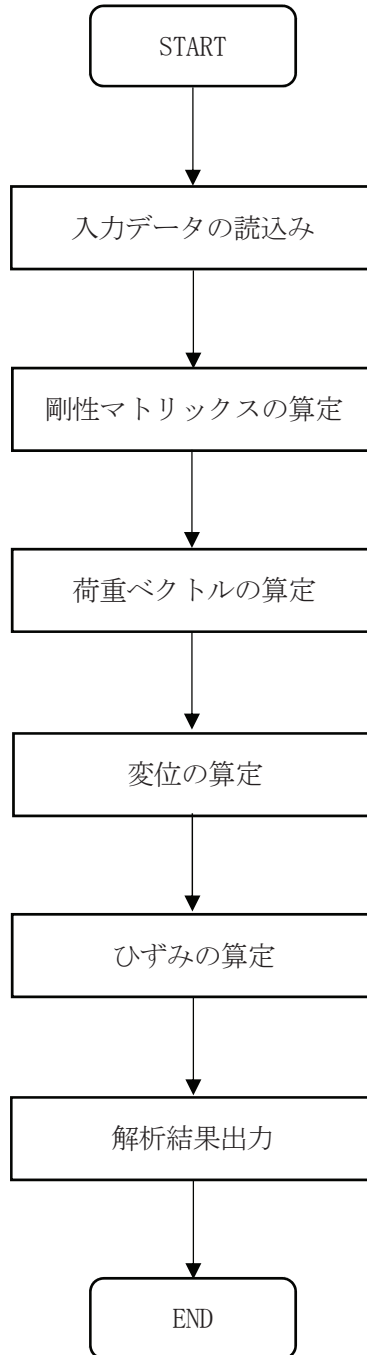


図 3-4 解析フローチャート

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

3.5.1 2次元非線形ファイバー要素の適用性の検証

2次元非線形ファイバー要素は、コンクリート及び鉄筋の非線形性を考慮し、鉄筋コンクリート部材を複数のファイバー(繊維)の集合体とみなし、各ファイバーを等価な直バネに置き換えて、軸力とモーメントの連成を考慮できるようにモデル化する要素である。2次元非線形ファイバー要素を用いた解析の適用性は、単純ばりモデルの荷重-変位関係について、本解析コードによる解析結果と実験結果を比較することで検証する。

(1) 検討条件

a. 実験概要

比較対象とする実験の概念図を図3-5に示す。実験では鉄筋コンクリートはりの試験体に対し、試験体天端2点に荷重し、試験体中央位置での鉛直変位に関する荷重-変位関係を確認する。

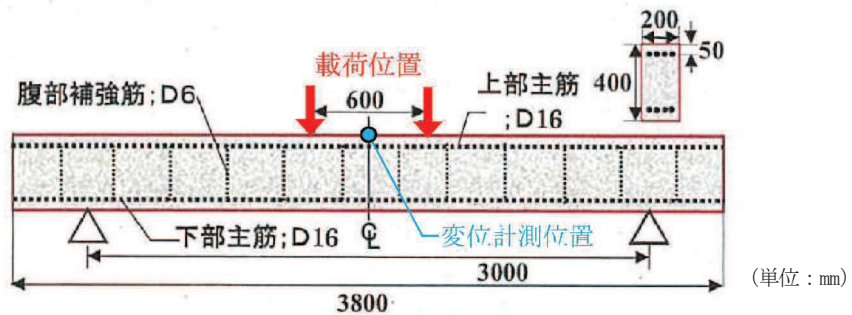


図 3-5 実験概念図

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(技術資料)(2005年)より引用)

b. 解析モデル

解析モデルは図3-5に基づき、2次元非線形ファイバー要素でモデル化し、要素分割は要素数18、節点数19とする。断面のモデル化は断面の分割数を40とし、鉄筋を上端、下端から50mmとなる位置に配置することでモデル化する。解析モデル図、断面のモデル化を図3-6及び図3-7に示す。

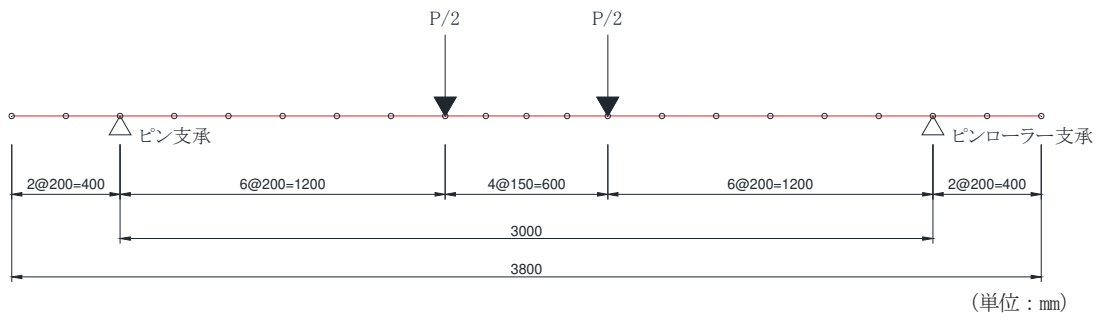


図 3-6 解析モデル図

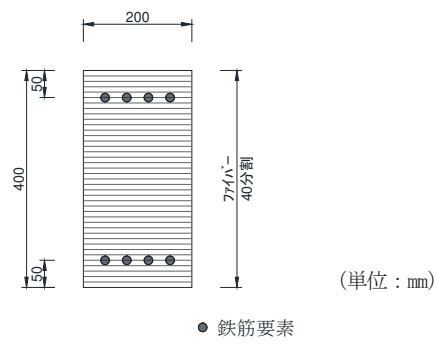


図 3-7 断面のモデル化

c. 解析用物性値

解析用物性値を表 3-1 に示す。

表 3-1 解析用物性値

コンクリート	圧縮強度 f_c (N/mm ²)	45.3
	引張強度 f_t (N/mm ²)	3.7
	ヤング係数 E_c (N/mm ²)	3.06×10^4
鉄筋	降伏強度 f_y (N/mm ²)	344
	ヤング係数 E_s (N/mm ²)	1.94×10^5

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針 (技術資料) (2005 年) より引用)

d. 解析条件

図 3-5 の載荷位置と同様に、図 3-6 に示す載荷位置に載荷し、モデル中央位置における荷重－変位関係を算出する。

(2) 結果の検証

実験結果と解析結果の荷重－変位関係の比較を図 3-8 に示す。

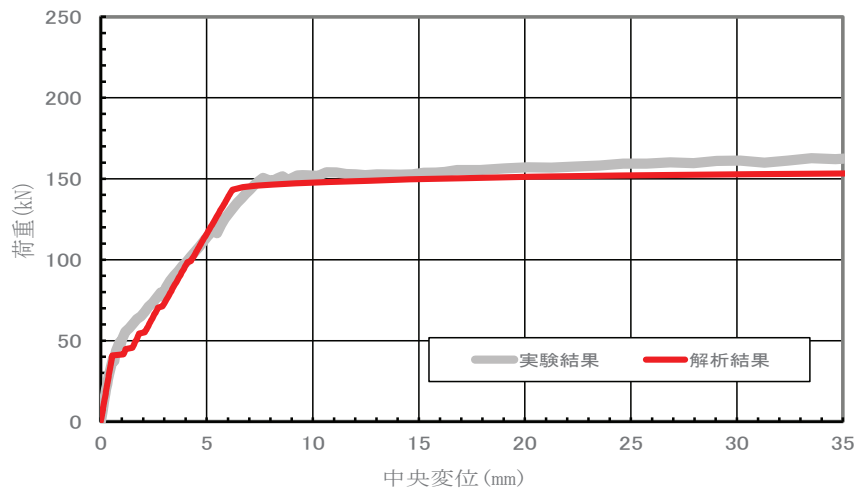


図 3-8 荷重－変位関係の比較

解析結果と実験結果の荷重－変位関係はおおむね一致しており、鉄筋降伏時の荷重もおおむね同等である。以上より、2次元非線形ファイバー要素を用いた解析の適用性を確認した。

3.5.2 妥当性確認

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。

- ・ 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。
- ・ 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，検証の結果をもって，解析機能の妥当性も確認できる。
- ・ 本工事計画で使用する応力解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3.5.3 評価結果

以上の検証結果及び妥当性確認結果により，本解析コードを，屋外重要土木構造物の応力解析に使用することは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0045_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-38 計算機プログラム（解析コード）の概要

- ・UC-win/WCOMD

2021年2月

東北電力株式会社

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）UC-win/WCOMD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
VI-2-2-20	軽油タンク連絡ダクトの耐震性についての計算書	Ver. 2. 02. 02
VI-2-2-28	排気筒連絡ダクトの耐震性についての計算書	Ver. 2. 02. 02

2. 解析コードの概要

コード名 項目	UC-win/WCOMD
使用目的	2次元有限要素法（非線形平面要素）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	1998年
使用したバージョン	Ver. 2.02.02
コードの概要	<p>UC-win/WCOMD（以下「本解析コード」という。）は、東京大学コンクリート研究室で開発された、鉄筋コンクリート構造物の2次元有限要素法解析を行う計算機コード「WCOMD」に、株式会社フォーラムエイトがプリ・ポストプロセッサを整備して製品化したものである。</p> <p>コンクリートに関する数多くの実験と理論的検証結果に基づいた高精度の構成則を用いており、ひび割れを生じた様々な鉄筋コンクリート構造物の2次元非線形動的解析・静的解析を行う。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・せん断耐力式によるせん断耐力と解析によるせん断耐力がおおむね一致していることを確認している。また、鉄筋コンクリートはりの載荷試験の結果と解析結果がおおむね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・九州電力株式会社川内原子力発電所において、2次元非線形静的解析による取水路の応力解析（せん断耐力の算定）に本解析コードが使用された実績があり、本工事計画で使用する鉄筋コンクリートはりと同様の適用をしている。 ・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解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する2次元非線形有限要素法解析（応力解析）に、本解析コードが適用できることを確認している。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0046_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-39 計算機プログラム（解析コード）の概要

・NOVAK

2021年9月

東北電力株式会社

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）NOVAK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
VI-2-2-21	緊急用電気品建屋の地震応答計算書	Ver. 1.3.3
VI-2-2-23	緊急時対策建屋の地震応答計算書	Ver. 1.3.3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NOVAK
使用目的	水平方向の地震応答解析モデルにおける側面地盤ばね算定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1984 年
使用したバージョン	Ver. 1.3.3
コードの概要	NOVAK（以下「本解析コード」という。）は、Novak の論文*に基づき、水平動、鉛直動、回転動に対する建屋側面地盤の複素ばね剛性を振動数領域で算出するプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で多数の工事計画に使用されており、十分な使用実績があるため信頼性があることを確認している。 ・Novak の論文*に記載されている水平、鉛直、回転ばねと同一地盤定数を用いた本解析コードによる解析結果を比較し、両者が一致することを確認している。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

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

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0047_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-40 計算機プログラム（解析コード）の概要

・MSC NASTRAN

2021年9月

東北電力株式会社

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.....	5
2.1 MSC NASTRAN ver. 2005r2, ver. 2008. 0. 0.....	5
2.2 MSC NASTRAN ver. 2012. 1. 0.....	7
2.3 MSC NASTRAN ver. 2013. 1. 1.....	8
2.4 MSC NASTRAN ver. 2018. 2. 1.....	10
2.5 MSC NASTRAN ver. 2011. 1. 0, ver. 2019 Feature Pack 1.....	12

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
VI-2-2-22	緊急用電気品建屋の耐震性についての計算書	ver. 2013. 1. 1
VI-2-2-24	緊急時対策建屋の耐震性についての計算書	ver. 2013. 1. 1
VI-2-3-4-2-2	原子炉格納容器スタビライザの耐震性についての計算書	ver. 2019 Feature Pack 1
VI-2-3-4-2-3	制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-3-4-3-11	中性子束計測案内管の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-4-2-1	使用済燃料プール（キャスクピットを含む）（第1, 2号機共用）の耐震性についての計算書	ver. 2013. 1. 1
VI-2-4-2-2	使用済燃料貯蔵ラック（第1, 2号機共用）の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-4-2-3	制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-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	ver. 2012. 1. 0
VI-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	ver. 2012. 1. 0
VI-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	ver. 2018. 2. 1
VI-2-5-7-1-3	原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書	ver. 2012. 1. 0
VI-2-5-7-2-3	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-6-5-1-1	起動領域モニタの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-6-5-1-2	出力領域モニタの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-6-7-2-2	衛星電話設備（屋外アンテナ）（中央制御室）の耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0
VI-2-6-7-2-4	衛星電話設備（屋外アンテナ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0
VI-2-6-7-3-2	無線連絡設備（屋外アンテナ）（中央制御室）の耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0
VI-2-6-7-3-4	無線連絡設備（屋外アンテナ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0
VI-2-6-7-7	統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0

使用添付書類		バージョン
VI-2-6-7-8	統合原子力防災ネットワーク用通信機器収容架の耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0
VI-2-8-3-3-1	管の耐震性についての計算書（中央制御室待避所加圧空気供給系）	ver. 2005r2
VI-2-9-2-1-2	サプレッションチェンバの耐震性についての計算書	ver. 2019 Feature Pack 1
VI-2-9-2-1-4	ドライウェルベント開口部の耐震性についての計算書	ver. 2019 Feature Pack 1
VI-2-9-2-1-5	ボックスサポートの耐震性についての計算書	ver. 2019 Feature Pack 1
VI-2-9-4-4-1-5	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-9-4-4-2-2	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書	2013. 1. 1
VI-2-9-4-4-3-1	静的触媒式水素再結合装置の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-10-2-13-1	津波監視カメラの耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0
VI-2-11-2-7	中央制御室天井照明の耐震性についての計算書	ver. 2013. 1. 1
VI-2-11-2-9	燃料交換機の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-11-2-13	制御棒貯蔵ラックの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-11-2-14	制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-11-2-21	CRD 自動交換機の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-12-1	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	ver. 2013. 1. 1
VI-2-13-9	地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-13-10	地下水位低下設備電源盤の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-別添 1-4	ガスボンベ設備の耐震性についての計算書	ver. 2005r2
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	ver. 2005r2
VI-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	ver. 2011. 1. 0, ver. 2012. 1. 0, ver. 2018. 2. 1
VI-2-別添 3-4	可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備の耐震計算書	ver. 2005r2
VI-2-別添 3-5	可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震計算書	ver. 2008. 0. 0

使用添付書類		バージョン
VI-3-3-6-1-1-4	ドライウェルベント開口部の強度計算書	ver. 2019 Feature Pack 1
VI-3-3-6-1-1-7	サプレッションチェンバの強度計算書	ver. 2019 Feature Pack 1

2. 解析コードの概要

2.1 MSC NASTRAN ver. 2005r2, ver. 2008. 0. 0

項目	コード名	MSC NASTRAN
使用目的	ver. 2005r2	3次元有限要素法（はりモデル及びシェルモデル）による固有値解析，応力解析
	ver. 2008. 0. 0	3次元有限要素法（はりモデル及びシェルモデル）による固有値解析，応力解析，地震応答解析
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. 2005r2, ver. 2008. 0. 0
コードの概要		<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析を目的として開発された，有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)		<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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，3次元有限要素法による応力解析，応答解析を行い，解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木，建築等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・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はり要素及びシェル要素を用いた解析に本解析コードが適用できる

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>ことを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 前述の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、解析結果と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。・ 本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	---

2.2 MSC NASTRAN ver. 2012. 1. 0

項目	コード名 MSC NASTRAN
使用目的	はり要素による固有値解析，地震応答解析
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. 2012. 1. 0
コードの概要	<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析を目的として開発された，有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 3 質点 3 軸はり要素モデルに対する固有値解析結果と理論解を比較して妥当であることを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木，建築等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・ 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はり要素を用いた解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・ 本解析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。 ・ 本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.3 MSC NASTRAN ver. 2013. 1. 1

項目	コード名 MSC NASTRAN
使用目的	有限要素法による応力解析
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. 2013. 1. 1
コードの概要	<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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、シェル要素を用いた応力解析を対象として、シェル要素を用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、土木、建築等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・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有限要素法（シェル要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・前述の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、解析結果と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	・ 本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
---	---

2.4 MSC NASTRAN ver. 2018. 2. 1

項目	コード名 MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（はりモデル，シェルモデル，ソリッドモデル，多質点モデル）による固有値解析，地震応答解析，応力解析
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. 2. 1
コードの概要	<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析を目的として開発された，有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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，3次元有限要素法による固有値解析，地震応答解析，応力解析を行い，解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・3質点3軸はり要素モデルに対する固有値解析結果と理論解を比較して妥当であることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木，建築等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・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3次元有限要素法（はりモデル，シェルモデル，ソリッドモデル，多質点モデル）を用いた解析に本解析コードが適用できることを確認し

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>ている。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 前述の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、解析結果と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。・ 本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	---

2.5 MSC NASTRAN ver. 2011.1.0, ver. 2019 Feature Pack 1

項目	コード名 MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（シェル要素，はり要素）による構造解析，応力算出
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. 2011.1.0, ver. 2019 Feature Pack 1
コードの概要	<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析を目的として開発された，有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について，はり要素及びシェル要素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，解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木，建築等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・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はり要素及びシェル要素を用いた解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・本解析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。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0049_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-42 計算機プログラム（解析コード）の概要
・SCC

2021年2月

東北電力株式会社

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.	解析手法	5
3.1	一般事項	5
3.2	本解析コードの特徴	5
4.	解析理論	6
5.	解析フローチャート	8
6.	検証(Verification)と妥当性確認(Validation)	9
6.1	検証(Verification)	9
6.2	妥当性確認(Validation)	9
6.2.1	妥当性確認方法	9
6.2.2	解析条件	9
6.2.3	妥当性確認結果	10
6.3	まとめ	10
7.	引用文献	10

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）SCC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
VI-2-3-2	炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SCC
使用目的	原子炉本体の基礎のスケルトンカーブ(曲げモーメントー曲率関係)の作成
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2016年
使用したバージョン	Ver. 1.0
コードの概要	<p>SCC (以下「本解析コード」という。) は、鉄筋又は円筒鋼板で補強されたコンクリート円筒構造物の断面算定を行う計算機コードである。</p> <p>本解析コードは、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005年制定)」(以下「RC-N 規準」という。) に示される基本仮定に基づき、ひずみの平面保持の仮定のもとで、断面の応力評価にファイバーモデルを適用し、鋼材で補強された円筒構造物の断面算定を行うプログラムである。</p> <p>本解析コードの入力データのうち、曲げモーメントを増加させて解析することで、鋼板製コンクリート円筒壁のスケルトンカーブを算出することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードにより得られた中立軸位置 x_n 及び曲率 ϕ をもとに、内力(軸力と曲げモーメント)を算出し、加えた外力と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして使用していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用マニュアルにより、本工事計画で実施するスケルトンカーブの作成に本解析コードが適用できることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 本解析コードによる円筒鋼板で補強された円筒コンクリート部材について、「RC-N 規準」に示される基本仮定から求められる結果との比較により、両者がおおむね一致することを確認している。• 本工事計画で行う鋼材+コンクリート円筒構造物の断面算定の用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	---

3. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、鋼材(鉄筋又は円筒鋼板)で補強された円筒コンクリート部材(円筒柱)について、「RC-N 規準」に示される基本仮定に基づき、断面算定を行うプログラムである。

本解析コードは、ひずみの平面保持の仮定及び引張域のコンクリートは耐力・剛性とも無視する鉄筋コンクリート構造の基本仮定を適用している。

算定には、断面を微小幅にスライスしたファイバーモデルを適用している。これにより、ひずみ度に応じた応力度分布をもとに断面力を算出する。外力(軸力+曲げモーメント)に対して、収束計算により中立軸と曲率を求め、鋼材とコンクリートのひずみ度及び応力度を求めるものである。

3.2 本解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴としては、以下のとおりである。

- ・荷重(軸力+曲げモーメント)に対して、円筒部材の鋼材及びコンクリートのひずみ度・応力度の算出を行う。
- ・コンクリートの応力度-ひずみ度関係は線形又はパラボラ分布の非線形性状(引用文献(1)参照)が扱える。
- ・鋼材の応力度-ひずみ度関係は線形又はバイリニアの非線形性状が扱える。

本工事計画における本解析コードのバージョン、評価対象及び評価内容を表 3-1 に示す。

表 3-1 解析概要

バージョン	評価対象	評価内容
Ver. 1.0	女川 2 号機原子炉本体の基礎	復元力特性設定におけるスケルトンカーブ(曲げモーメント-曲率関係)の各折点を算出

4. 解析理論

図 4-1 に示すリング状に円筒鋼板で補強された円筒コンクリート部材の軸力 N 及び曲げモーメント M は(1)式及び(2)式で表される。

コンクリートの応力度-ひずみ度関係にパラボラ分布を、鋼材の応力度-ひずみ度関係にバイリニアを適用し、軸力及び曲げモーメントの釣り合いから中立軸 x_n 及び曲率 ϕ を収束計算により算定する。

$$N = \int \sigma_c dA + \sum_k \int \sigma_s da_s \quad (1)$$

$$M = \int \sigma_c \cdot y dA + \sum_k \int \sigma_s \cdot y da_s - N \cdot \left(x_n - \frac{D}{2} \right) \quad (2)$$

ここで、

N : 軸力

M : 曲げモーメント

σ_c : コンクリートの応力度 (引用文献(1)参照)

$$\varepsilon \leq \varepsilon_0 \text{ の場合, } \sigma_c = 0.85F_c \left\{ 2 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

$$\varepsilon > \varepsilon_0 \text{ の場合, } \sigma_c = 0.85F_c \quad (4)$$

ε : ひずみ (= $y \cdot \phi$)

ε_0 : 応力度が最大に到達するひずみ (=0.002)

σ_s : 鋼材の応力度 (バイリニア)

x_n : 中立軸位置

y : 中立軸からの距離

ϕ : 曲率

A : 圧縮を受けるコンクリートの断面積

a_s : 鋼材の断面積

\sum_k : 円筒鋼板の枚数分の総和

D : 円筒の直径(外径)

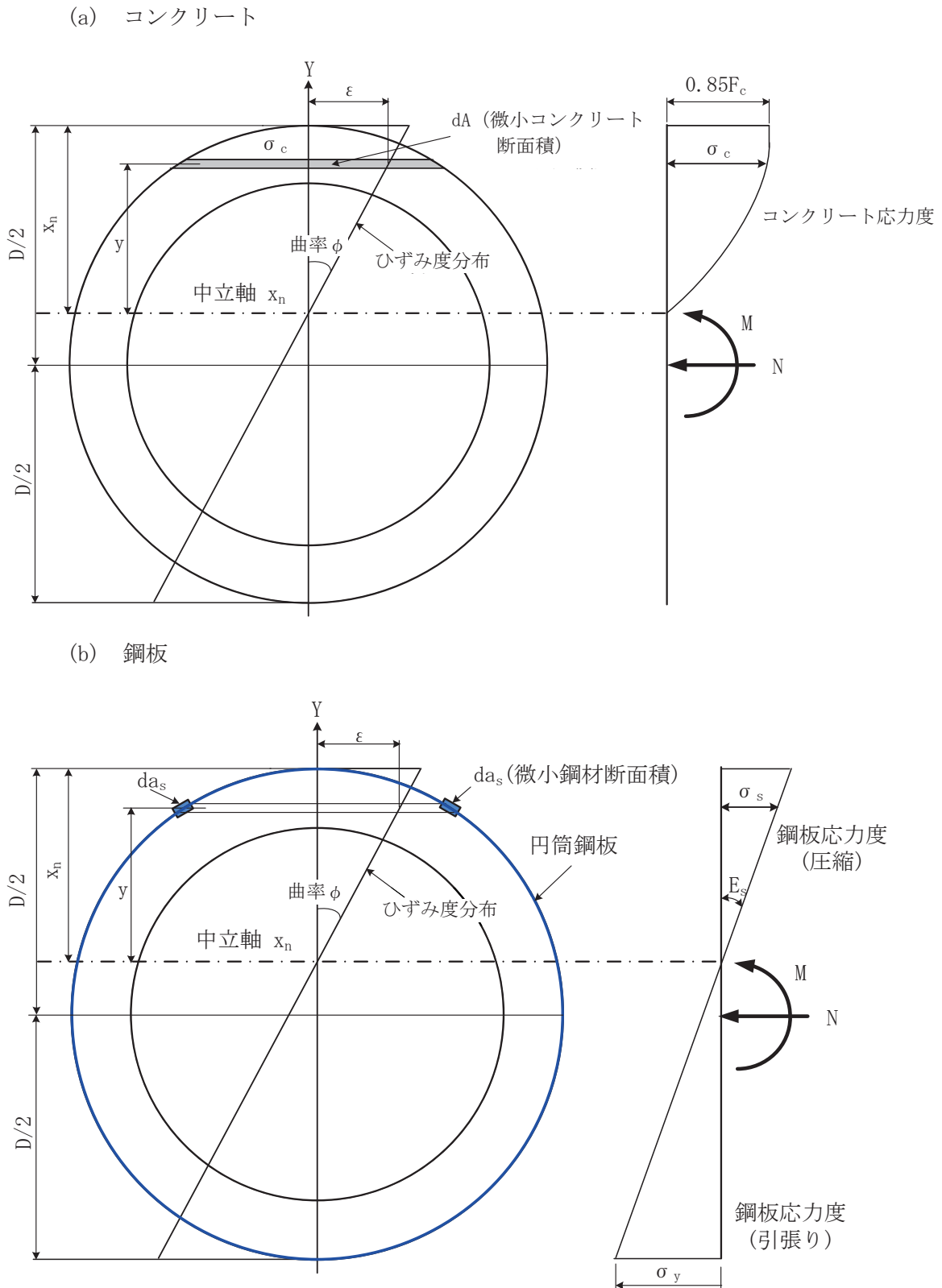


図 4-1 円筒断面のひずみ度と応力度

5. 解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを図 5-1 に示す。

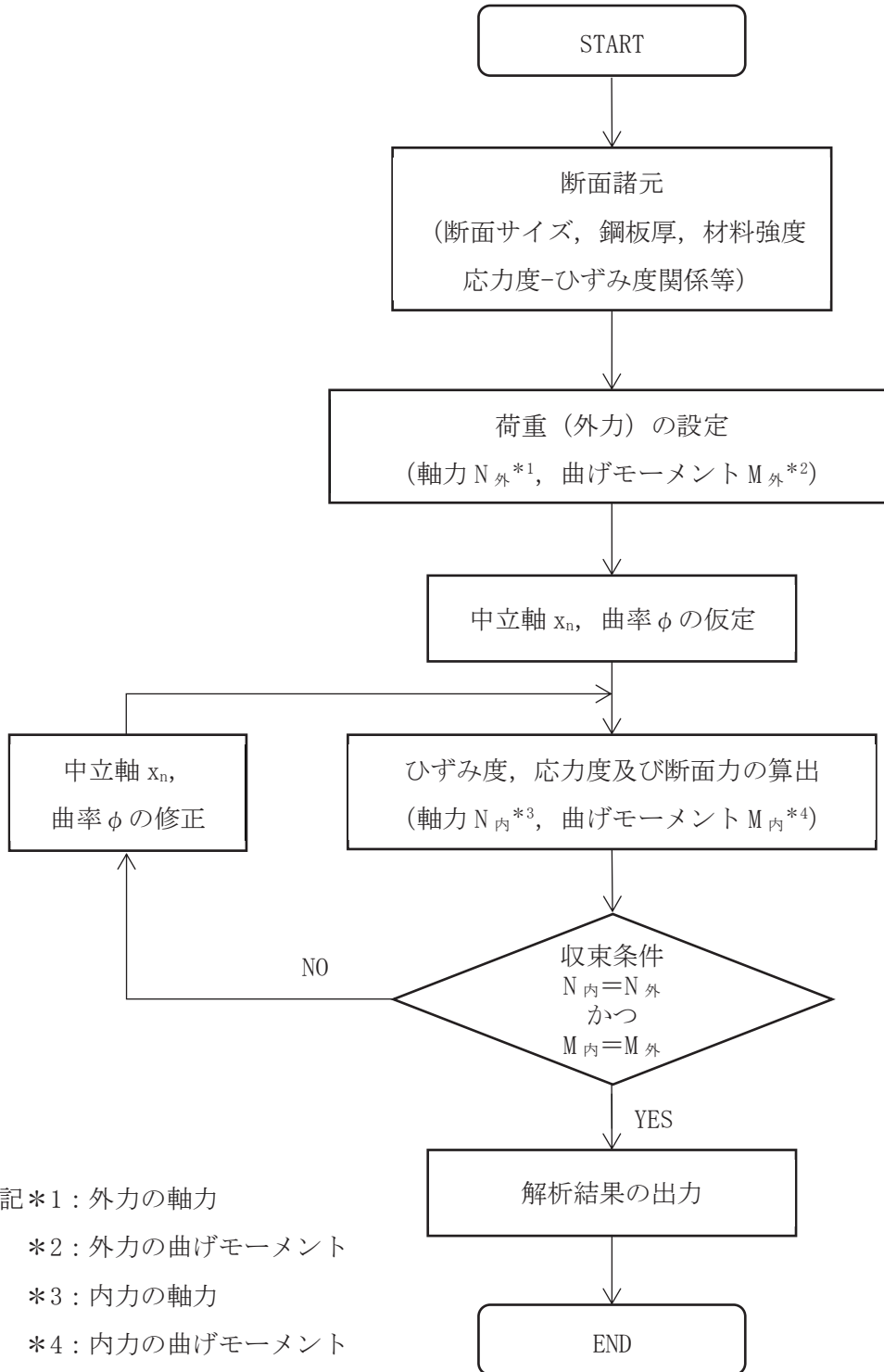


図 5-1 解析フローチャート

6. 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)

本解析コードは、「4. 解析理論」に示した一般性のある理論に基づき構築された解析コードであり、「5. 解析フローチャート」に示したプログラム構造を持っている。

そこで、本解析コードによる円筒鋼板により補強された円筒コンクリート部材の解析結果と手計算による結果との比較により、解析解の適切さを確認している。

6.1 検証(Verification)

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。

6.2 妥当性確認(Validation)

6.2.1 妥当性確認方法

円筒鋼板+円筒コンクリート部材について、本解析コードにより得られた中立軸位置 x_n 及び曲率 ϕ をもとに、別途手計算で応力度から求められる内力（軸力と曲げモーメント）を算出し、加えた外力（軸力と曲げモーメント）と一致することの確認をもって行う。

6.2.2 解析条件

検証を行う円筒部材の断面諸元を表 6-1、荷重条件を表 6-2 に示す。

表 6-1 円筒部材の断面諸元

	コンクリート		円筒鋼板	
断面諸元	外径 (m)	14.0	鋼板中心半径 (m)	6.15
	内径 (m)	10.6	鋼板厚さ (m)	0.06
	躯体厚さ (m)	1.7	—	—
材料定数	設計基準強度 F_c (MPa)	29.4	F 値 (MPa)	245
	$0.85F_c$ (MPa)	24.99	縦弾性係数 E_s (MPa)	192,000

表 6-2 荷重条件

	荷重条件
軸力 (kN) (圧縮を正)	83,640
曲げモーメント (kN・m)	2,030,220

6.2.3 妥当性確認結果

本解析コードによる中立軸 x_n 及び曲率 ϕ (表 6-3) から求められるひずみ度及び応力度を用いて、手計算により求めた軸力及び曲げモーメントと入力した外力と比較して表 6-4 に示す。

表 6-4 より、両者は十分な精度で一致しており、本解析コードが応力度・ひずみ度を正しく評価していることとなる。

表 6-3 荷重条件と本解析コードによる中立軸と曲率

本解析コードによる中立軸と曲率	
中立軸 x_n (m)	5.0
曲率 ϕ (1/m)	1.20337×10^{-4}

表 6-4 入力外力と手計算による断面力の比較

	項 目	①入力値	②手計算による 算定結果	(①-②)/①
断面力	軸力 (kN) (圧縮を正)	83,640	83,623	0.0002
	曲げモーメント (kN・m)	2,030,220	2,029,987	0.0001

6.3 まとめ

以上のとおり、本解析コードの円筒鋼板+円筒コンクリート部材の断面算定機能について、本解析コードによる中立軸と曲率をもとに算出したひずみ度及び応力度から手計算によって断面力を算定し、これが与条件である外力と比較し一致することを確認した。したがって、本解析コードによる各部のひずみ度及び応力度が十分な精度で算出されていることとなる。以上より本解析コードによる断面算定が適切に行われていることを確認した。

また、上記に加えて、使用マニュアルにより、本工事計画で使用する鋼板+コンクリート円筒構造物のスケルトンカーブの算定に、本解析コードが適用できることを確認している。

したがって、本解析コードを、鋼板+コンクリート円筒構造物のスケルトンカーブの算定に使用することは、妥当である。

7. 引用文献

Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0050_改0
提出年月日	2021年2月12日

VI-5-43 計算機プログラム（解析コード）の概要
・BSPAN2

2021年2月

東北電力株式会社

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）BSPAN2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
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	2.2

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	BSPAN2
使用目的	弾性解析による被覆管応力解析
開発機関	原子燃料工業株式会社
開発時期	2011 年
使用したバージョン	2.2
コードの概要	<p>BSPAN2（以下「本解析コード」という。）は、原子燃料工業株式会社により開発された被覆管応力解析コードである。</p> <p>本解析コードは、軽水炉向け燃料棒について燃焼中に被覆管に発生する応力を評価し、設計比及び運転モードの変化により発生する応力振幅をモンテカルロ法により評価する解析コード BSPAN に、耐震解析用の機能等を統合した改良コードである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・組み込み式は、実験値、文献等の根拠に基づくものであり、当該式の使用が適切であることを確認し、理論解と解析結果が一致していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・改良前の BSPAN コードを電力合同プログラム点検にて確認している。 ・組み込み式が正しく反映されることを理論解と解析結果が一致していることで確認している。 ・解析コードのバージョンアップ前後の比較により、燃料被覆管応力解析において既許認可の結果を再現できることを確認している。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0051_改0
提出年月日	2021年2月12日

VI-5-44 計算機プログラム（解析コード）の概要
・CARO

2021年2月

東北電力株式会社

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）CARO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
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	CARO
使用目的	燃料棒の熱的挙動及び機械的挙動の評価
開発機関	Kraftwerk Union 社
開発時期	1981 年
使用したバージョン	1
コードの概要	<p>CARO (以下「本解析コード」という。) は, Kraftwerk Union 社により開発された燃料棒熱・機械設計コードである。</p> <p>本解析コードは, 出力履歴に対応したペレット-被覆管のギャップ幅変化とガスの熱伝導率をもとにペレットと被覆管のギャップ熱伝達係数を求め, 燃料棒の熱的挙動を評価すると同時に, 軸対称有限要素法 (FEM) により, ペレットと被覆管の相互作用等の機械的挙動を評価する。</p> <p>本解析コードは, 高燃焼度 8×8 燃料及び 9×9 燃料の設計・許認可に適用された実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハルデン炉の試験燃料データ, 商業炉燃料棒の照射後試験データ等に基づいてペレット中心温度, 核分裂生成ガス放出率, 燃料棒内圧及び被覆管直径変化を対象とした計算値と測定値の比較*1 が実施され, コードに組み込まれた個々の解析モデルが正しく機能していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハルデン炉の試験燃料データ等との比較における計算値と測定値のばらつきがコード予測の不確かさとして考慮*1 されていることを確認している。 ・コード検討会等規制機関による確認*1,*2が実施されていることを確認している。

注記*1 : 沸騰水型軽水炉用燃料の設計手法について (昭和 62 年 12 月 原子燃料工業株式会社 NLR-14)

*2 : 原子炉安全基準専門部会報告書, 発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について (昭和 63 年 5 月 12 日 原子力安全委員会了承)

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0052_改0
提出年月日	2021年2月12日

VI-5-45 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FURST

2021年2月

東北電力株式会社

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）FURST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
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	5

2. 解析コードの概要

コード名 項目	FURST
使用目的	弾性解析による被覆管応力解析
開発機関	ゼネラル・エレクトリック社
開発時期	1978 年
使用したバージョン	5
コードの概要	<p>FURST（以下「本解析コード」という。）は、ゼネラル・エレクトリック社により開発された被覆管応力解析コードである。</p> <p>本解析コードは、燃料被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し、被覆管の支持格子間及び支持格子接触部の応力評価をモンテカルロ法により統計的に実施する。</p> <p>地震時には、通常運転時及び過渡時に被覆管に発生する応力の他に、水平及び鉛直地震加速度により被覆管に発生する応力を考慮する。</p> <p>本解析コードは、高燃焼度 8×8 燃料、9×9 燃料及び MOX 燃料の設計・許認可解析に適用された実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・被覆管の応力計算式（厚肉円筒）がコードに正しく組み込まれていることを、本解析コードによる解析結果が別法計算による解析結果と一致していることにより確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コード検討会等規制機関による確認^{*1,*2,*3}が実施されていることを確認している。

注記*1：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成 10 年 2 月 株式会社日立製作所 HLR-033 訂 1）

*2：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成 10 年 1 月 株式会社東芝 TLR-045 改訂 1）

*3：原子炉安全基準専門部会報告書、発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和 63 年 5 月 12 日 原子力安全委員会了承）

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0053_改0
提出年月日	2021年2月12日

VI-5-46 計算機プログラム（解析コード）の概要
・PRIME

2021年2月

東北電力株式会社

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）PRIME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
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	1

2. 解析コードの概要

項目	コード名 PRIME
使用目的	燃料棒の熱的挙動及び機械的挙動の評価
開発機関	ゼネラル・エレクトリック社，株式会社東芝，株式会社日立製作所（メーカー共同開発）
開発時期	1985 年
使用したバージョン	1
コードの概要	<p>PRIME（以下「本解析コード」という。）は，ゼネラル・エレクトリック社，株式会社東芝及び株式会社日立製作所で共同開発された燃料棒熱・機械設計コードである。</p> <p>本解析コードは，出力履歴に対応したペレット-被覆管のギャップ幅変化とガスの熱伝導率をもとにペレットと被覆管のギャップ熱伝達係数を求め，燃料棒の熱的挙動を評価すると同時に，軸対称有限要素法（FEM）により，ペレットと被覆管の相互作用等の機械的挙動を評価する。</p> <p>本解析コードは，高燃焼度 8×8 燃料，9×9 燃料及び MOX 燃料の設計・許認可に適用された実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハルデン炉の試験燃料データ，商業炉燃料棒の照射後試験データ等に基づいてペレット中心温度，核分裂生成ガス放出率，燃料棒内圧及び被覆管直径変化を対象とした計算値と測定値の比較^{*1,*2}が実施され，コードに組み込まれた個々の解析モデルが正しく機能していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハルデン炉の試験燃料データ等との比較における計算値と測定値のばらつきがコード予測の不確かさとして考慮^{*1,*2}されていることを確認している。 ・コード検討会等規制機関による確認^{*1,*2,*3}が実施されていることを確認している。

注記*1：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成 10 年 2 月 株式会社日立製作所 HLR-033 訂 1）

*2：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成 10 年 1 月 株式会社東芝 TLR-045 改訂 1）

*3 : 原子炉安全基準専門部会報告書，発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和63年
5月12日 原子力安全委員会了承）

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0054_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-47 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ASHSD

2021年2月

東北電力株式会社

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）ASHSD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
VI-2-3-3-2-3	シュラウドサポートの耐震性についての計算書	ver. 6. 1. 2
VI-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	ver. 6. 1. 2

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ASHSD
使用目的	構造解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1982 年
使用したバージョン	ver. 6. 1. 2
コードの概要	<p>ASHSD (以下「本解析コード」という。) は、原子炉圧力容器、シュラウドサポートの構造解析用プログラムのシステムであって、有限要素法に基づいて計算する計算機プログラムである。</p> <p>軸対称構造物に作用する非軸対称荷重による応力解析及び熱応力解析を行うことができる。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 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"> ・集中荷重を受ける円筒の弾性解析等の代表的な検証用モデルに対し、本解析コードで計算される解析解が理論解と一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードのマニュアルにより、本工事計画で使用する応力計算（軸対称構造物に対する非軸対称荷重による応力の算出）に、本解析コードが適用できることを確認している。 ・本解析コードは、これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0055_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-48 計算機プログラム（解析コード）の概要
・PIPE

2021年2月

東北電力株式会社

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）PIPE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
VI-2-3-3-2-3	シュラウドサポートの耐震性についての計算書	6.1.0
VI-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	6.1.0

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	PIPE
使用目的	構造解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1973 年
使用したバージョン	6.1.0
コードの概要	<p>PIPE (以下「本解析コード」という。) は, 内圧, 外圧及び外荷重のかかる円筒殻又は球殻の構造不連続による効果を含まない一次応力をシェル理論及びはり理論により求める計算機プログラムである。</p> <p>円筒殻, 球殻及びノズル等に内圧及び外圧によって生じる一次一般膜応力並びに外荷重によって生じる一次一般膜応力及び一次膜＋一次曲げ応力を求めるのに適用する。</p> <p>本解析コードは, 原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内圧を受ける円筒の弾性解析等の代表的な検証用モデルに対し, 本解析コードで計算される解析解が理論解と一致していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードのマニュアルにより, 本工事計画で使用する応力計算(円筒殻, 球殻及びノズル等に内圧及び外圧によって生じる一次一般膜応力並びに外荷重によって生じる一次一般膜応力及び一次膜＋一次曲げ応力の算出) に, 本解析コードが適用できることを確認している。 ・本解析コードは, これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており, 妥当性は十分に確認されている。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0056_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-49 計算機プログラム（解析コード）の概要
・STAX

2021年2月

東北電力株式会社

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）STAX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
VI-2-3-3-2-3	シュラウドサポートの耐震性についての計算書	10.1.1
VI-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	10.1.1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	STAX
使用目的	構造解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1976 年
使用したバージョン	10.1.1
コードの概要	<p>STAX (以下「本解析コード」という。) は、原子炉压力容器、シュラウドサポートの構造解析用プログラムのシステムであって、有限要素法に基づいて計算する計算機プログラムである。</p> <p>軸対称構造物に作用する軸対称荷重による応力解析及び熱応力解析を行うことができる。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 内圧を受ける円筒の弾性解析等の代表的な検証用モデルに対し、本解析コードで計算される解析解が理論解と一致していることを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードのマニュアルにより、本工事計画で使用する応力計算（軸対称構造物に対する軸対称荷重による応力の算出）に、本解析コードが適用できることを確認している。 ・ 本解析コードは、これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0057_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-50 計算機プログラム（解析コード）の概要
・A-SAFIA

2021年2月

東北電力株式会社

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）A-SAFIA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
VI-2-3-3-2-8	制御棒案内管の耐震性についての計算書	ver.0
VI-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	ver.0
VI-3-別添 6-7	制御棒案内管の強度計算書	ver.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	A-SAFIA
使用目的	構造解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1973 年
使用したバージョン	ver. 0
コードの概要	<p>A-SAFIA（以下「本解析コード」という。）は，制御棒案内管，原子炉圧力容器に対する評価を目的として，有限要素法により軸対称構造物の軸対称荷重に対する応力を計算する計算機プログラムである。</p> <p>荷重条件としては，内圧，軸対称荷重及び熱負荷を扱うことができる。要素として三角形要素及び四角形要素があり，任意の組合せで構造物をモデル化できる。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内圧を受ける円筒の弾性解析等の代表的な検証用モデルに対して，本解析コードで計算される解析解と理論解との比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードのマニュアルにより，本工事計画で使用する応力計算（軸対称構造物に対する軸対称荷重）に，本解析コードが適用できることを確認している。 ・本解析コードは，これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0058_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-51 計算機プログラム（解析コード）の概要
・DYNA2E

2021年2月

東北電力株式会社

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）DYNA2E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
VI-2-7-2-1	排気筒の耐震性についての計算書	ver. 8. 1. 0
VI-2-11-2-2	竜巻防護ネットの耐震性についての計算書	ver. 8. 1. 0
VI-2-11-2-15	第1号機排気筒の耐震性についての計算書	ver. 7. 2. 63
VI-3-別添 1-1-7	排気筒の強度計算書	ver. 7. 2. 63

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	DYNA2E
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による静的応力解析，固有値解析，地震応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	1972年（センチュリリサーチセンタ株式会社） 2007年（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）
使用したバージョン	ver. 7.2.63, ver. 8.1.0
コードの概要	<p>DYNA2E（以下「本解析コード」という。）は，土木・建築分野における骨組解析を対象として開発された，市販されている汎用構造解析コードである。</p> <p>本解析コードは，2次元／3次元の骨組構造物に対し，静的な節点力が入力された場合の構造物の変位及び断面力を求めるための静的応力解析，固有周期，固有振動モード及びモード減衰定数等を算出する固有値解析，モード法，直接積分法，複素応答法及び周波数応答法による線形動的応答解析，直接積分法による非線形動的応答解析が行うことができる。</p> <p>橋梁，建築，機器構造物，原子力建屋等で豊富な解析実績を有する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・一本棒の曲げせん断型モデルについて，本解析コード及び別解析コード MSC NASTRAN ver. 2008r1 を用いて得られた固有値解析結果及び応答解析結果を比較して検討し，本解析コードによる解析結果が妥当であることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証内容のとおり，固有値解析及び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本工事計画の解析に本解析コードを適用することは妥当である。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。・本工事計画における構造に対し使用する静的応力解析，固有値解析及び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。
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0059_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-52 計算機プログラム（解析コード）の概要

・SAP-IV

2021年9月

東北電力株式会社

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）SAP-IV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
VI-2-8-3-1-1	中央制御室換気空調系ダクトの耐震性についての計算書	1.00
VI-2-8-3-2-1	緊急時対策所換気空調系ダクトの耐震性についての計算書	1.00
VI-2-9-4-4-1-3	非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書	1.00
VI-2-別添 1-2	火災感知器の耐震性についての計算書	1.00
VI-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B, C クラスの機器についての計算書	1.00

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SAP-IV
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び応力解析
開発機関	新日本空調株式会社
開発時期	1973年（米国カリフォルニア大学） 2004年（新日本空調株式会社）
使用したバージョン	1.00
コードの概要	<p>SAP-IV Ver. 1.00（以下「本解析コード」という。）は、カリフォルニア大学が開発したSAP-IVをベースに、インターフェースの追加を目的として新日本空調株式会社がカスタマイズした計算機プログラムである。</p> <p>任意形状の3次元モデル（主にはり要素及びシェル要素）に対して、有限要素法を用いて静的解析及び動的解析を行うもので、主として、機器の固有値計算並びに自重、運転時荷重及び地震力による応力計算等に用いる。</p> <p>本解析コードは、機械工学、土木工学、航空工学等の分野において、多くの実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・入力されたデータはインプットデータとして解析結果とともに出力され、入力データと一致することを確認している。 ・片持ちばりの自重による固定端モーメント及び自由端たわみ、固有振動数を本解析コードの静的解析結果及び固有値解析結果と理論解を比較して、解析解と理論解が一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、機械工学、土木工学、航空工学等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・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。 ・本工事計画で行うはりモデルの固有値解析及び静的解析という解析

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>の使用目的に照らして、用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">・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3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析に本解析コードが適用できることを確認している。
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0060_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-53 計算機プログラム（解析コード）の概要

・KSAP

2021年2月

東北電力株式会社

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）KSAP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
VI-2-9-4-4-2-1	管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）	VERSION 6.3
VI-2-9-4-4-2-3	可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算書	VERSION 6.3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	KSAP
使用目的	3次元有限要素法による構造解析
開発機関	川崎重工業株式会社
開発時期	1984年
使用したバージョン	VERSION 6.3
コードの概要	<p>KSAP（以下「本解析コード」という。）は、3次元構造までの静的及び動的弾性解析のための汎用有限要素法計算機プログラムである SAP-V のインターフェースを改良したものである。</p> <p>3次元トラスやビーム、平面応力要素等が用意されており、それらを用いて1次元、2次元あるいは3次元の固有値解析、静的解析及び動的解析（床応答スペクトル解析、時刻歴応答解析）が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サンプルモデルに対する本解析コードの固有値解析結果が手計算と一致することを確認している。 ・構造解析データが正しく応力算出計算に受け渡され、規格基準に従い、発生応力、疲労累積係数を算出しており、その過程が理論解を再現できることを確認している。 ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管系応力解析プログラムの解析コード [redacted] による計算結果を比較し、よく合致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・本解析コードは、水素関連機器やボイラ等、一般産業用機器の配管に対する構造解析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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 本解析コードを使用することの妥当性は、上述の検証の中で確認している。• 本工事計画で行う3次元有限要素法による固有値解析、地震応答解析及び応力解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内であることを確認している。
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0061_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-54 計算機プログラム（解析コード）の概要
・NuPIAS

2021年2月

東北電力株式会社

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）NuPIAS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
VI-2-8-3-3-1	管の耐震性についての計算書（中央制御室待避所加圧空気供給系）	Ver7.2.0
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	Ver7.2.0
VI-3-3-5-1-3-2-2	管の応力計算書（中央制御室待避所加圧空気供給系）	Ver7.2.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NuPIAS
使用目的	3次元有限要素法（はりモデル）による固有値解析，応力解析
開発機関	東電設計株式会社，川崎重工業株式会社
開発時期	2000年
使用したバージョン	Ver7.2.0
コードの概要	<p>NuPIAS（以下「本解析コード」という。）は，配管の強度解析を目的として開発された計算機プログラムである。本解析コードは，汎用構造解析コードSAP-Vをメインプログラムとし，応力評価プログラム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログラムから成る。</p> <p>任意の1次元，2次元あるいは3次元形状に対し，静的解析，動的解析を行うことが可能で，反力・モーメント・応力，固有値・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・配管系応力解析プログラム *1の計算データと本解析コードによる計算結果を比較し，よく合致していることを確認している。 ・応力評価プログラムについては，メインプログラムの出力結果（軸力，モーメント）から，適用技術基準（JSME*2，JEAG*3等）に基づいて応力評価が正しく計算されていることを確認している。 ・サブプログラムについては，インターフェイスチェックシートを用いて，単位，桁数，符号が変換前後で正しく処理されていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力の分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・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解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画で行うはりモデルによる管の応力解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲にあることを確認している。

注記*1:



*2: 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」

*3: 原子力発電所耐震設計技術指針

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0062_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-55 計算機プログラム（解析コード）の概要
・microSHAKE

2021年2月

東北電力株式会社

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）microSHAKE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
VI-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書	Ver. 2. 3. 3
VI-2-10-2-6-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書	Ver. 2. 3. 3
VI-2-10-2-6-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書	Ver. 2. 3. 3
VI-3-別添 3-2-5-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度計算書	Ver. 2. 3. 3
VI-3-別添 3-2-5-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度計算書	Ver. 2. 3. 3

2. 解析コードの概要

コード名	microSHAKE
項目	
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動算定
開発機関	株式会社地震工学研究所
開発時期	1999年
使用したバージョン	Ver. 2.3.3
コードの概要	<p>microSHAKE (1次元波動伝播解析コード) (以下「本解析コード」という。) 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>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>①1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 V_s をP波速度 V_p 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>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードについて、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おおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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本工事計画の解析に適用することは妥当である。 ・関西電力株式会社高浜発電所第4号機において、復水タンク基礎の地震応答解析(入力地震動作成)で本解析コードが使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認し

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	ている。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の 範囲内であることを確認している。
---	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0063_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-56 計算機プログラム（解析コード）の概要
・UC-win/Section

2021年9月

東北電力株式会社

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）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
VI-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書	Ver. 6. 02. 02
VI-2-13-4	地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書	Ver. 6. 02. 02
VI-3-別添 3-2-1-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書	Ver. 6. 02. 02

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	2003 年
使用したバージョン	Ver. 6. 02. 02
コードの概要	<p>UC-win/Section (以下「本解析コード」という。) 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、以下のとおりである。</p> <p>①鉄筋の情報(位置、断面積)を1本毎に考慮でき、複鉄筋等、配筋に忠実な断面計算が可能である。</p> <p>②任意形状に対して2軸曲げの計算が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる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。 ・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。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、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本工事計画に本解析コードを適用することは妥当である。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、防潮堤、SA用海水ピット他の鉄筋コンクリートの応力解析(断面照査)に本解析コード(Ver. 6. 02. 01)が使用された実績がある。 ・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。 ・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。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0064_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-57 計算機プログラム（解析コード）の概要
・RC断面計算

2021年9月

東北電力株式会社

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
VI-2-10-2-3-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-2-12-1	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 8. 0. 6
VI-2-13-3	地下水位低下設備接続柵の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 7
VI-3-別添 3-2-2-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の強度計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-3-別添 3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の強度計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-3-別添 3-2-4	貯留堰の強度計算書	Ver. 8. 0. 6

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. 8.0.6, Ver. 8.0.7
コードの概要	RC 断面計算（以下「本解析コード」という。）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>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードを用いた応力度解析解と、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。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画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。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、防潮堤、SA 用海水ピット、格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート他の鉄筋コンクリートの応力解析（断面照査）に本解析コード（Ver. 8.0.5）が使用された実績がある。 ・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。 ・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。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0065_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-58 計算機プログラム（解析コード）の概要

- ・ APOLLO Analyzer

2021年2月

東北電力株式会社

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. 解析手法	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	6
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (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 Analyzer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
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書	ver. 2. 81. 0. 0
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書	ver. 2. 81. 0. 0

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	APOLLO Analyzer
使用目的	鋼部材の2次元骨組構造解析（断面力算出）
開発機関	株式会社横河技術情報
開発時期	1998年
使用したバージョン	ver. 2.81.0.0
コードの概要	<p>APOLLO Analyzer（以下「本解析コード」という。）は、骨組みで構成された任意の構造に対して任意の荷重を載荷し断面力及び変位を算出する汎用計算機プログラムである。適用モデル（主には要素で構成）に対して、静的解析、動的解析の機能を有している。</p> <p>橋梁だけでなく様々な土木構造物の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・単純はりモデルに対して本解析コードを用いて算出した断面力及び変位が、構造力学公式集を用いて算出した断面力及び変位と一致することを確認している。 ・格子モデルに対して、本解析コードで算出した断面力及び変位が、日本原子力発電株式会社東海第二発電所の防潮堤（鋼製防護壁）の3次元骨組みモデルにて使用実績のあるTDAPⅢ（ver3.08）で同様のモデルを解析した際に算出される断面力及び変位と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画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。 ・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。

3. 解析手法

3.1 一般事項

APOLLO Analyzer は、任意の骨組み構造に対して構造解析を行うプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

APOLLO Analyzer の主な特徴を以下に示す。

モデル定義から解析実行まで、すべて操作はウィンドウ上にモデルを確認しながら行うことができる。また、ウィンドウ表示したモデル図・変位図・断面力図はDXF形式の他、ビットマップ形式でも保存でき、ワープロ文書に貼り付ける等、後編集が可能である。

・モデルの定義

解析モデルを、構造節点・構造要素にて定義する。座標を入力し、モデルを定義すると、ウィンドウ上にモデルが描画され、描画されたモデルの任意の節点・要素をマウスでクリックすると節点番号・要素番号が表示される等、モデルのエラーチェックを視覚的に行うことが可能である。

・荷重の定義

本システムでは固定荷重、影響線荷重、活荷重荷重を1つのモデルで複数定義することができる。影響線荷重、活荷重荷重を行なう場合、あらかじめ横断線の定義を行う。入力画面で荷重を入力し、載荷する荷重データをマウスでクリックすると、ウィンドウ上でモデルに載荷する荷重を視覚的に確認することができる。また、これらの荷重を基本ケースとして容易に組合せ編集を行なうことができる。

・解析結果の出力・図化

解析結果として以下の3つを出力することができる。

a) 変形図・断面力図

変形図、断面力図は定義した荷重毎、成分毎に出力することが可能である。構造要素の定義で、要素ブロックを定義してあれば、特定のブロックのみの変形・断面力を表示させることもできる。

b) 主桁変位・断面力グラフ

主桁の変位と断面力を複数の荷重ケース、複数の成分について重ね書きして出力することができる。

c) 解析結果リスト

解析結果を成果品として保存することができる。保存するデータの種類として、テキストデータ (CSV形式・TXT形式) , RTF形式データ (MS-WORD) , XLS形式データ (MS-EXCEL) の選択をすることができ、必要な形式にデータ保存することができる。

3.3 解析理論

APOLLO Analyzer は構造解析システムとして変位法を用いている。

変位法とは、

- ① 構造物に外力が働いた場合に生じる変位を求める。
- ② ①で求めた変位を用いて断面力を算出する。

外力と変位の関係式

$$\{F\} = [K] \times \{U\}$$

$\{F\}$: 外力ベクトル (荷重ベクトル), $[K]$: 全体剛性マトリックス, $\{U\}$: 変位ベクトル

外力と全体剛性マトリックスの逆行列から変位ベクトルを求める。

$$\{U\} = [K]^{-1} \times \{F\}$$

$[K]^{-1}$: $[K]$ の逆行列

求めた変位ベクトルから要素座標系の変位ベクトルを求め、要素座標系の変位ベクトルと要素剛性マトリックスから断面力を求める。

$$\{f_e\} = [k_e] \times \{u_e\}$$

$\{f_e\}$: 要素断面力ベクトル, $[k_e]$: 要素剛性マトリックス, $\{u_e\}$: 要素座標系での変位ベクトル

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

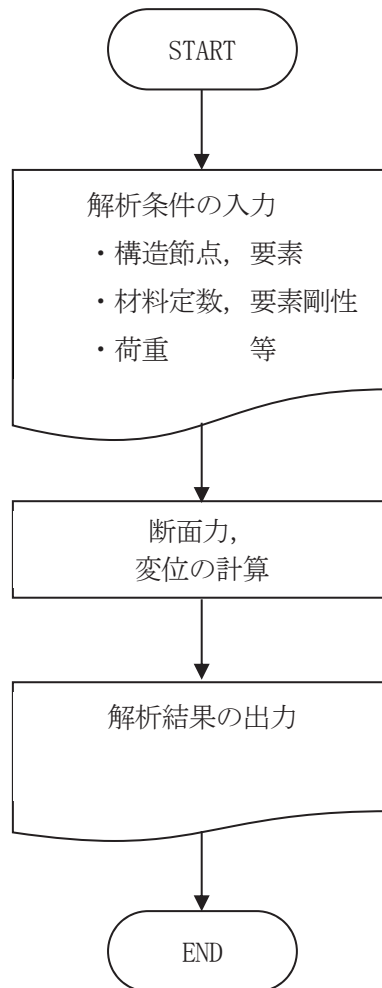


図3-1 解析フローチャート

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

(1) 単純梁モデルに対する比較検証

以下に示す断面諸元を持つ単純梁において図3-2に示すような荷重がそれぞれ作用した場合の支間中央部の断面力 (M, S) 及び変位 (δ) について図3-3及び図3-4に示す構造力学公式集を用いて算出し、プログラムの出力結果と比較する。

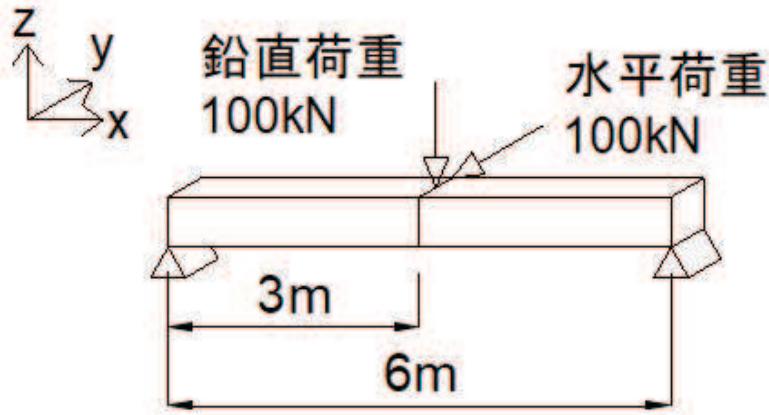


図 3-2 単純梁モデル

表3-1 単純梁の構造諸元

項目	諸元値
支間長 (= l)	6 (m)
ヤング率 (=E)	200000000 (kN/m ²)
断面剛性 (=I _y)	0.0002 (m ⁴)
断面剛性 (=I _z)	0.00007 (m ⁴)
作用荷重 (=P)	100 (kN)

構造力学公式集により算出した断面力及び変位

荷重, たわみ曲線, せん断力図, 曲げモーメント図	反力 R_A, R_B , せん断力 Q	曲げモーメント M
<p>1)</p>	$R_A = R_B = \frac{P}{2}$ $Q_1 = \frac{P}{2}$ $Q_2 = -\frac{P}{2}$	$M_1 = \frac{P}{2} x$ $M_2 = \frac{P}{2} x'$ $M_{max} = \frac{Pl}{4}, \left[x = \frac{l}{2} \right]$

図3-3 せん断・曲げ算出式 (構造力学公式集P. 134より引用)

た わ み w	た わ み 角 θ	支点たわみ角 θ_A, θ_B
$w_1 = \frac{Pl^3}{48EI} \left\{ 3\frac{x}{l} - 4\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right\}$ $w_2 = \frac{Pl^3}{48EI} \left\{ 3\frac{x'}{l} - 4\left(\frac{x'}{l}\right)^3 \right\}$ $w_{max} = \frac{Pl^3}{48EI}, \left[x = \frac{l}{2} \right]$	$\theta_1 = -\frac{Pl^2}{16EI} \left\{ 1 - 4\left(\frac{x}{l}\right)^2 \right\}$ $\theta_2 = \frac{Pl^2}{16EI} \left\{ 1 - 4\left(\frac{x'}{l}\right)^2 \right\}$	$\theta_A = -\frac{Pl^2}{16EI}$ $\theta_B = -\theta_A$

図3-4 たわみ算出式 (構造力学公式集P. 135より引用)

(a) 水平荷重に対して

$$\begin{aligned}
 M &= P \times l / 4 \\
 &= 100 \times 6 / 4 \\
 &= 150 \text{ (kNm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= P / 2 \\
 &= 100 / 2 \\
 &= \pm 50 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= P \times l^3 / (48 \times E \times I_z) \\
 &= 100 \times 6^3 / (48 \times 200000000 \times 0.00007) \\
 &= 0.03214 \dots \text{ (m)} \approx 32.14 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

(b) 鉛直荷重に対して

$$\begin{aligned}
 M &= P \times l / 4 \\
 &= 100 \times 6 / 4 \\
 &= 150 \text{ (kNm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= P / 2 \\
 &= 100 / 2 \\
 &= \pm 50 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= P \times l^3 / (48 \times E \times I_y) \\
 &= 100 \times 6^3 / (48 \times 200000000 \times 0.0002) \\
 &= 0.01125 \text{ (m)} = 11.25 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

APOLLO Analyzerにより算出した断面力及び変位

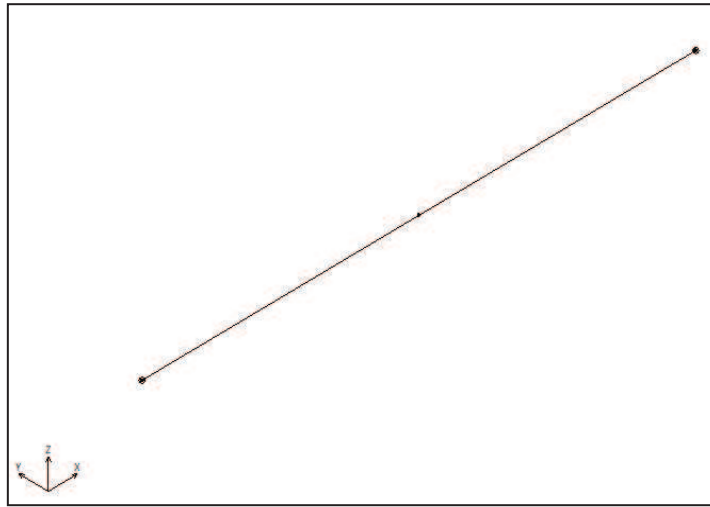


図3-5 単純梁 解析モデル

(a) 水平荷重載荷

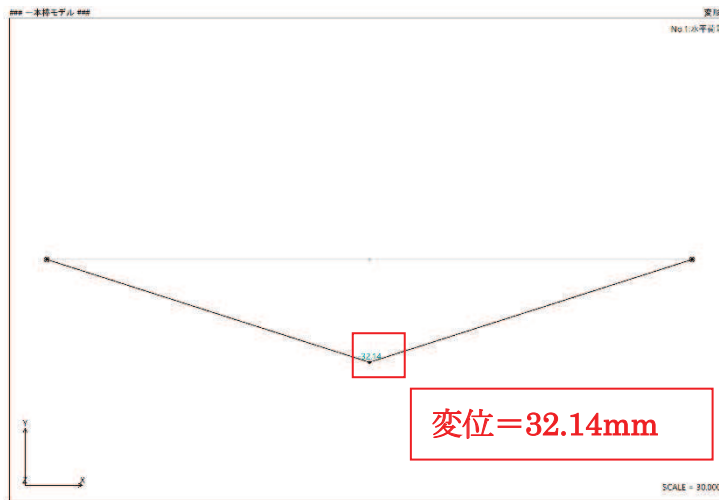


図3-6 APOLLO Analyzer解析結果(変位/水平荷重)

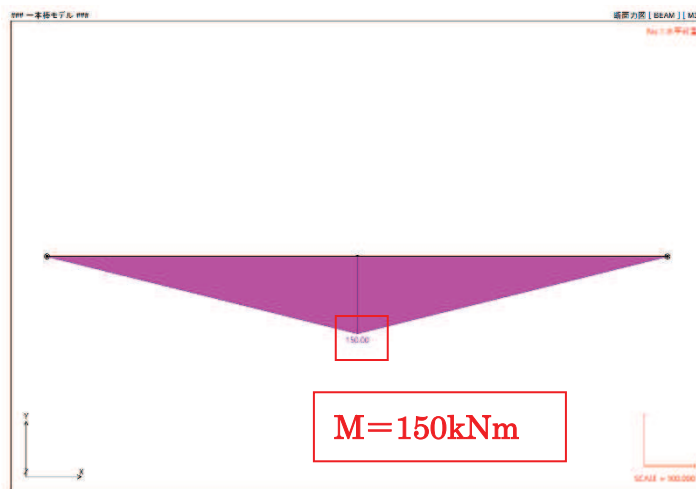


図3-7 APOLLO Analyzer解析結果(曲げモーメント/水平荷重)

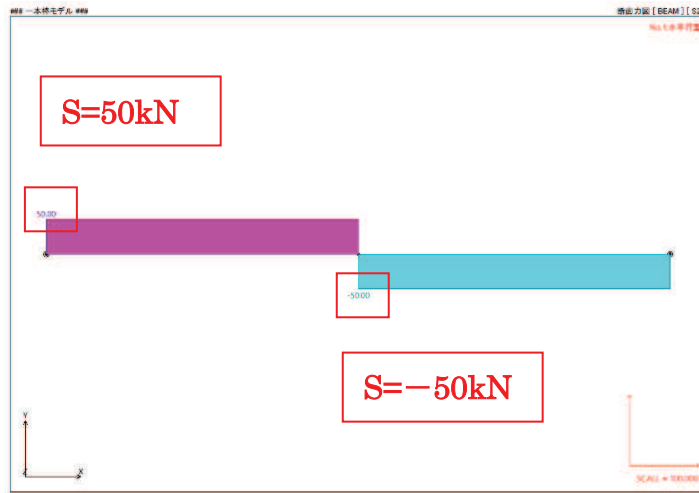


図3-8 APOLLO Analyzer解析結果(せん断力／水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷

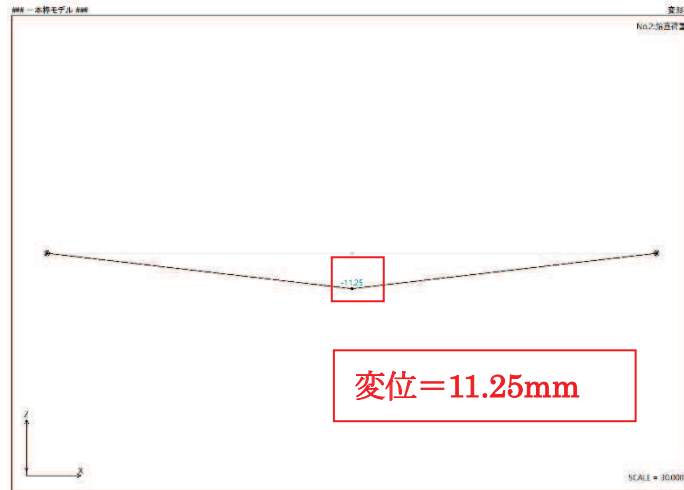


図3-9 APOLLO Analyzer解析結果(変位／鉛直荷重)

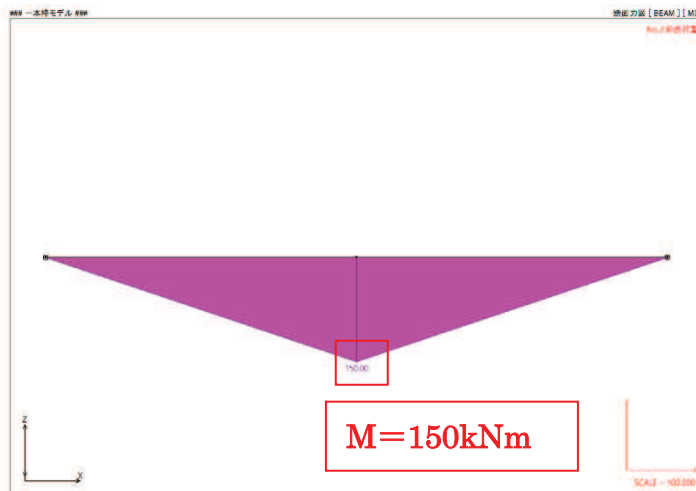


図3-10 APOLLO Analyzer解析結果(曲げモーメント／鉛直荷重)

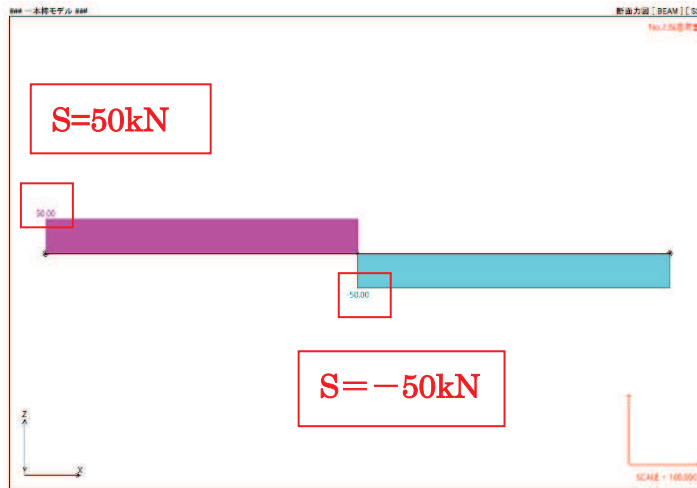


図3-11 APOLLO Analyzer解析結果(せん断力/鉛直荷重)

表3-2 計算例と解析結果の比較

		構造力学公式集	APOLLO Analyzer	比率
水平荷重	δ (mm)	32.14	32.14	100%
	M (kNm)	150	150	100%
	S (kN)	50	50	100%
鉛直荷重	δ (mm)	11.25	11.25	100%
	M (kNm)	150	150	100%
	S (kN)	50	50	100%

構造力学公式集を用いた計算結果とAPOLLO Analyzerの出力結果が一致していることを確認しており、断面力及び変位の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(2) 格子モデルに対する比較検証

図3-12に示す格子モデルに図3-13及び図3-14に示す荷重がそれぞれ作用した場合の断面力 (M, S, N) 及び変位 (δ) をTDAPⅢとAPOLLO Analyzerで算出し比較する。

解析モデルの構造諸元を表3-3、境界条件を表3-4に示す。

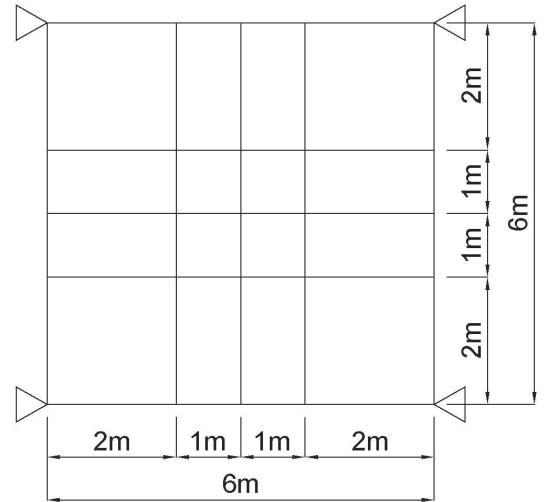
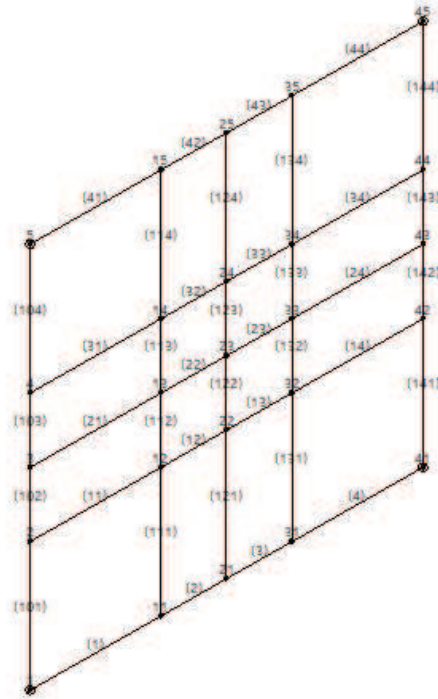


図3-12 比較検証モデル

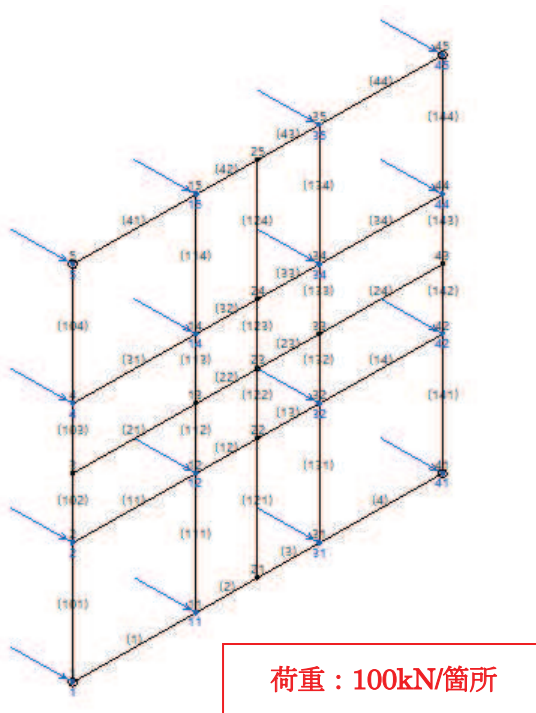


図3-13 水平荷重載荷

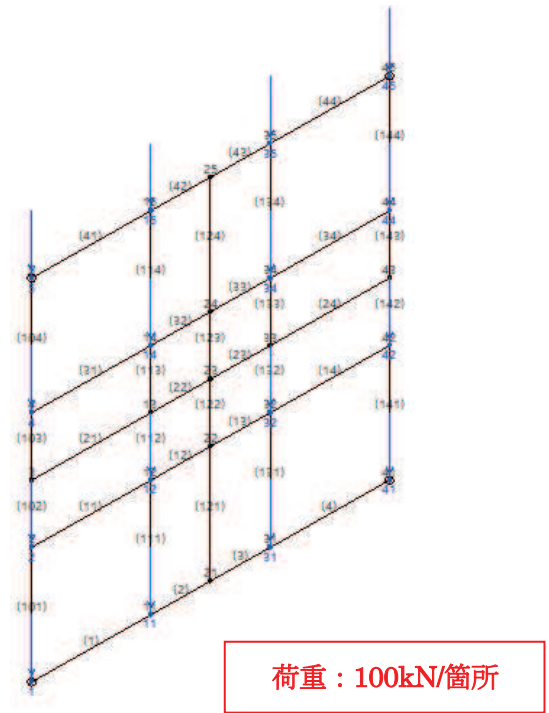


図3-14 鉛直荷重載荷

表3-3 解析モデル 構造諸元

項目		諸元値
支間長 (縦部材)		6 (m)
支間長 (横部材)		6 (m)
ヤング率 (=E)		200000000 (kN/m ²)
断面剛性 (=I _y =I _z)	縦部材	0.0002 (m ⁴)
	横部材	0.0002 (m ⁴)
作用荷重 (=P)		100 (kN/箇所)

表3-4 解析モデル 境界条件

	x 方向	y 方向	z 方向
変形	拘束	拘束	拘束
回転	自由	自由	自由

TDAPIII により算出した断面力及び変位

(a) 水平荷重載荷

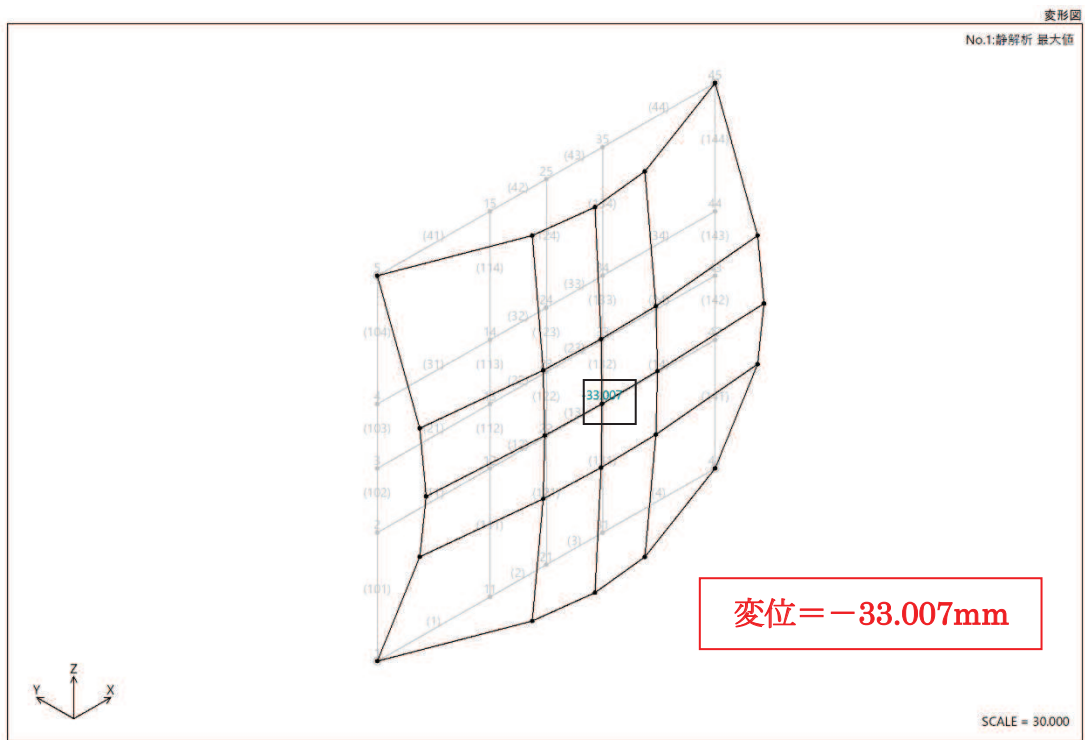


図3-15 TDAPIII 解析結果(変位/水平荷重)

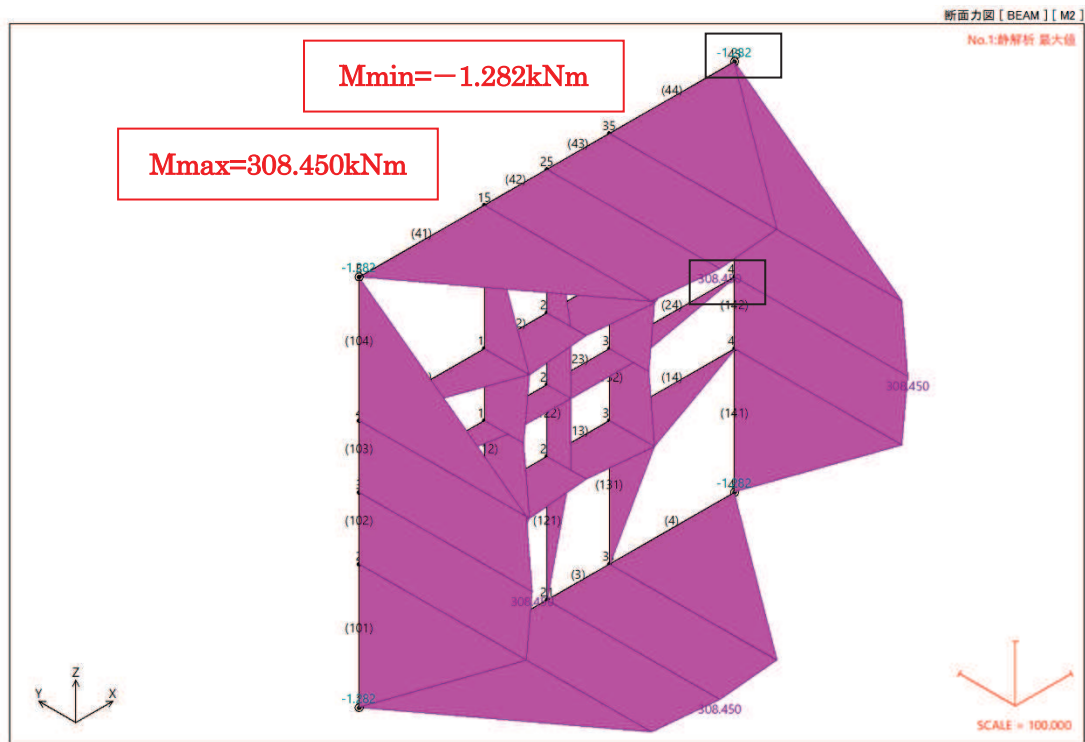


図3-16 TDAPIII 解析結果(曲げモーメント/水平荷重)

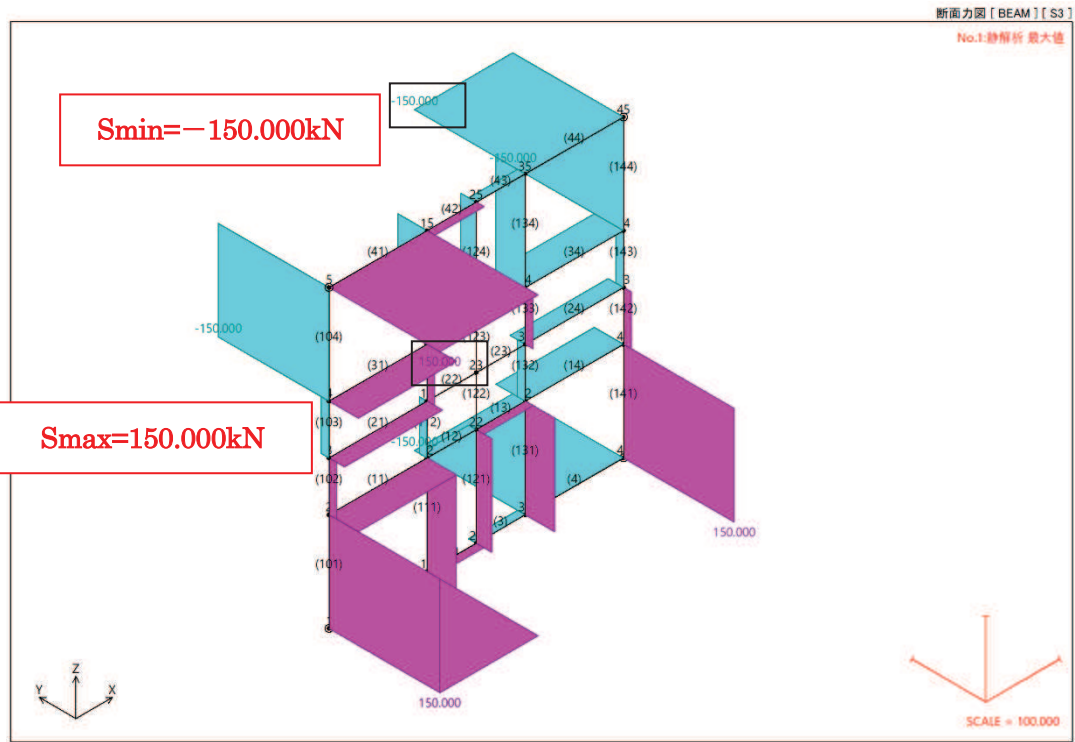


図3-17 TDAPIII 解析結果(せん断力/水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷

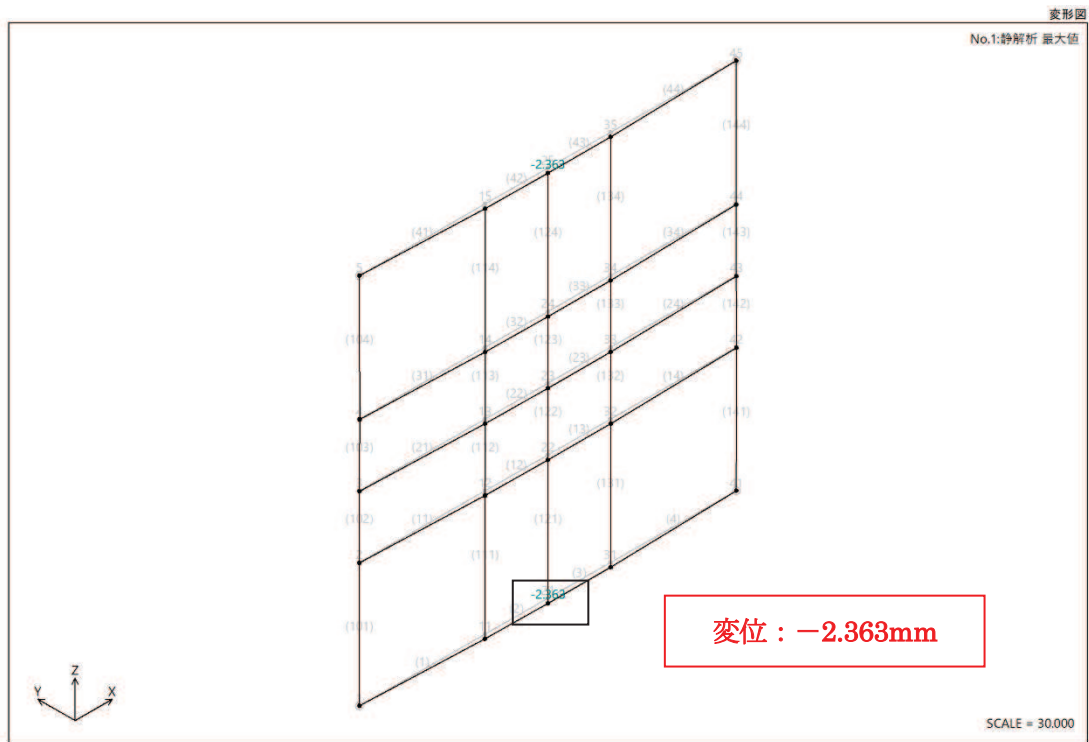


図3-18 TDAPIII 解析結果(変位/鉛直荷重)

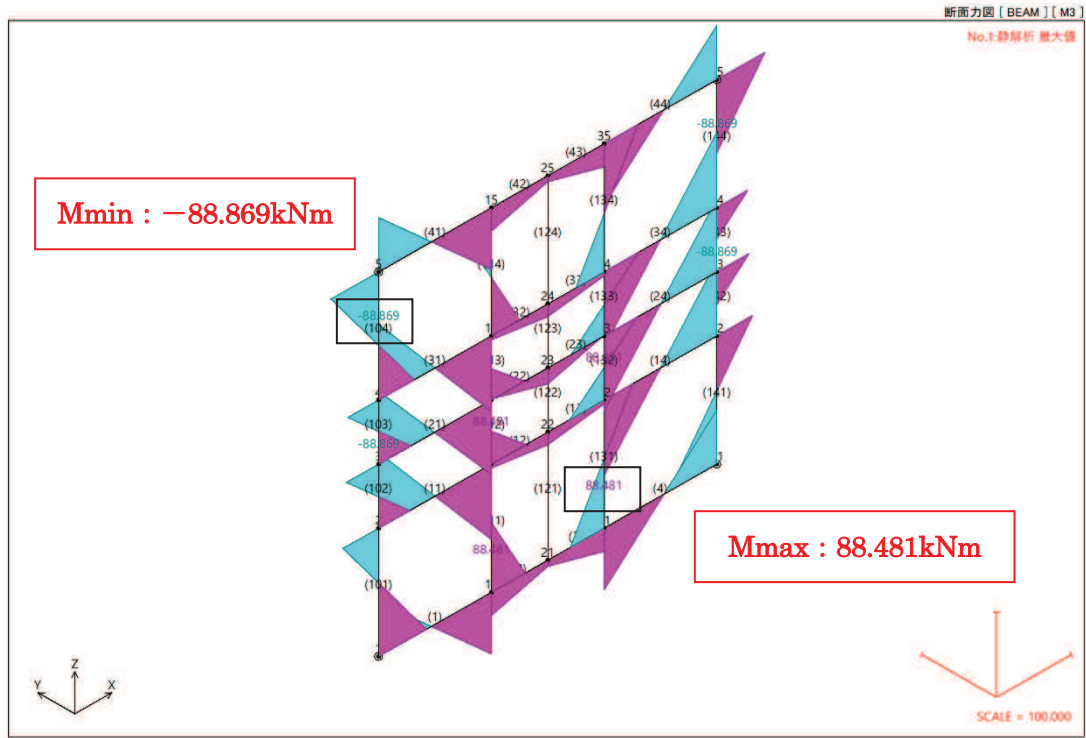


図3-19 TDAPIII 解析結果(曲げモーメント/鉛直荷重)

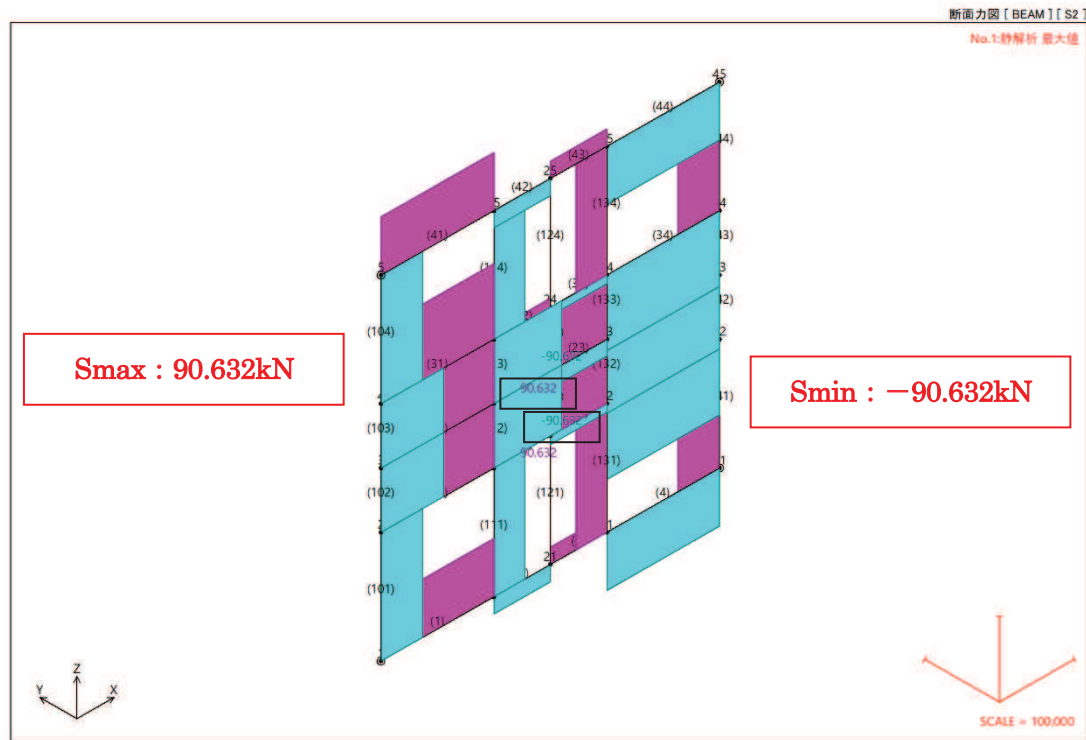


図3-20 TDAPIII 解析結果(せん断力/鉛直荷重)

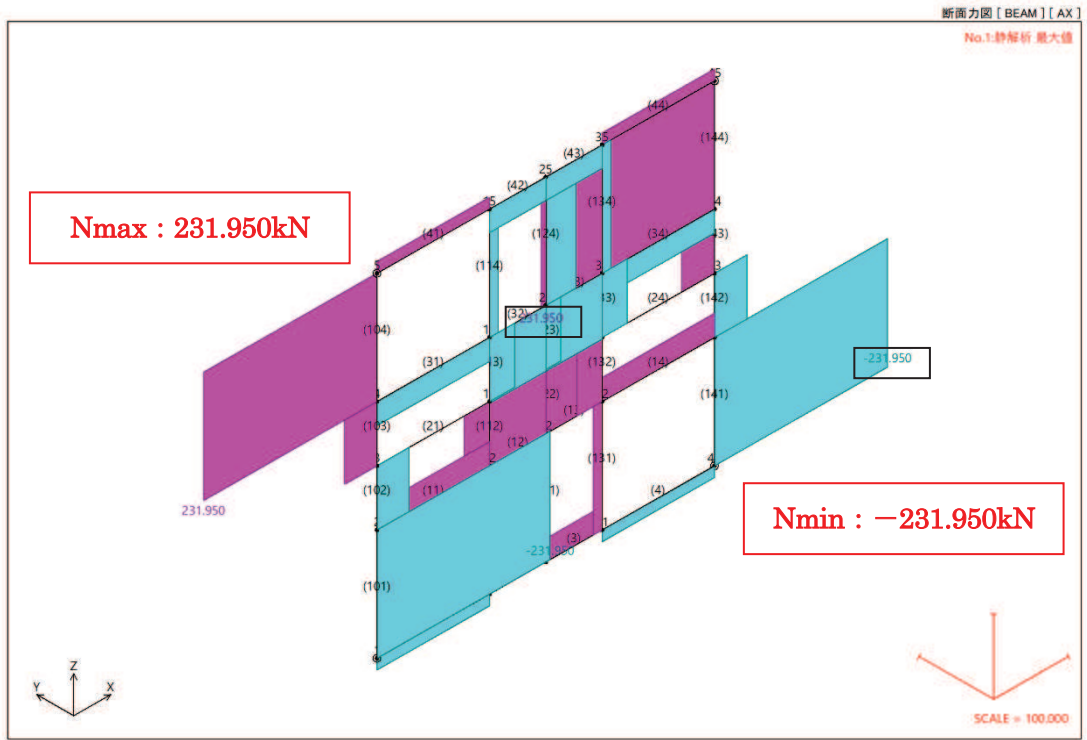


図3-21 TDAPⅢ 解析結果(軸力/鉛直荷重)

APOLLO Analyzerにより算出した断面力及び変位

(a) 水平荷重時

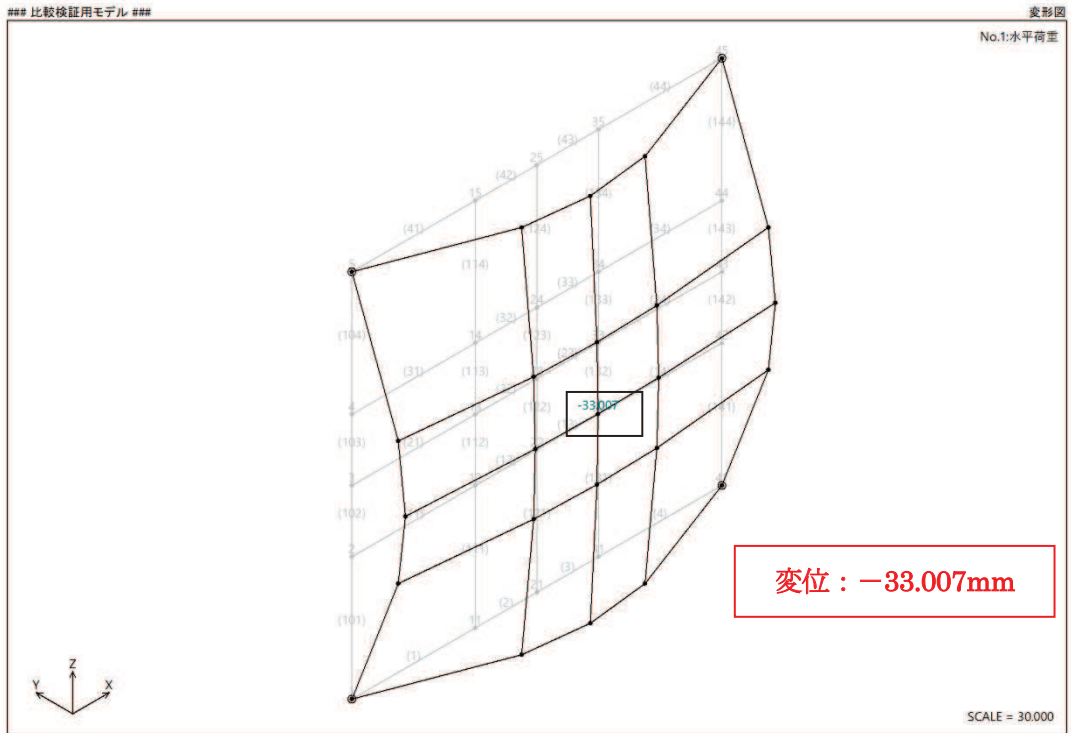


図3-22 APOLLO Analyzer 解析結果(変位/水平荷重)

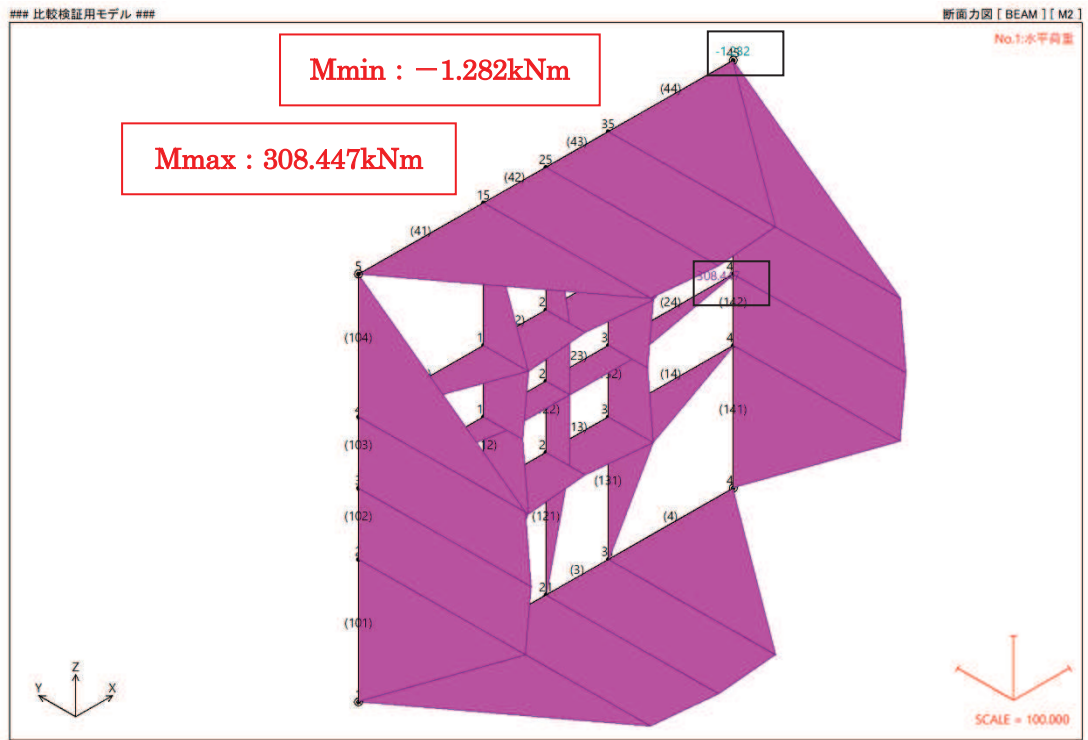


図3-23 APOLLO Analyzer 解析結果(曲げモーメント/水平荷重)

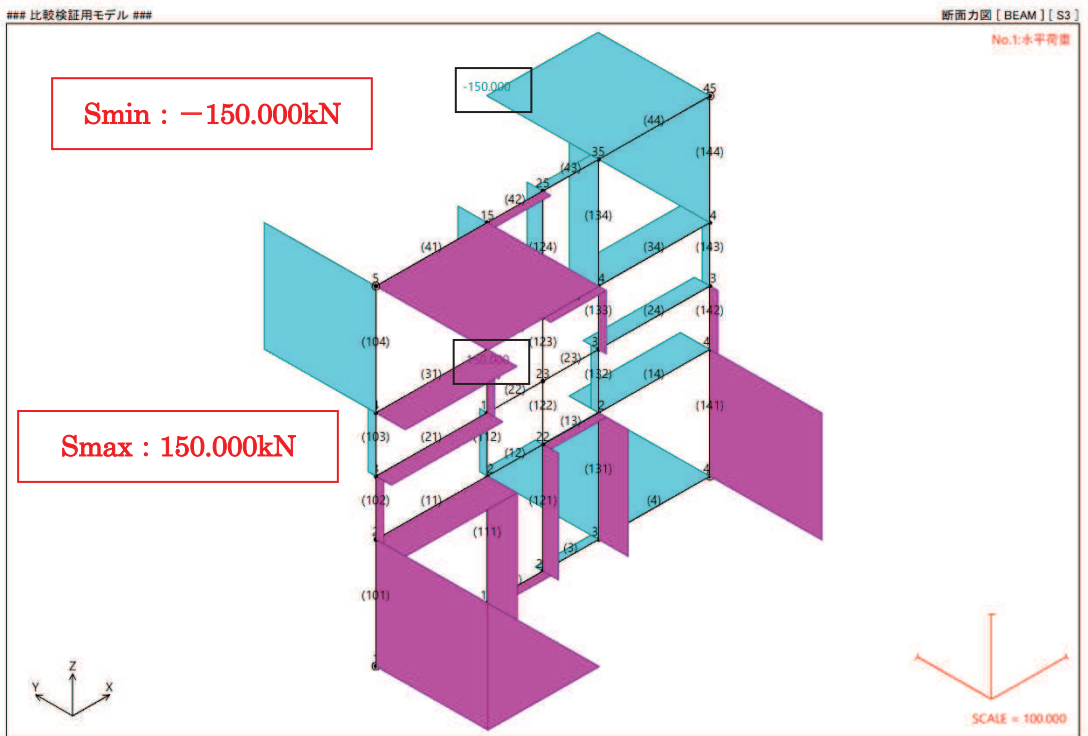


図3-24 APOLLO Analyzer 解析結果(せん断力/水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷時

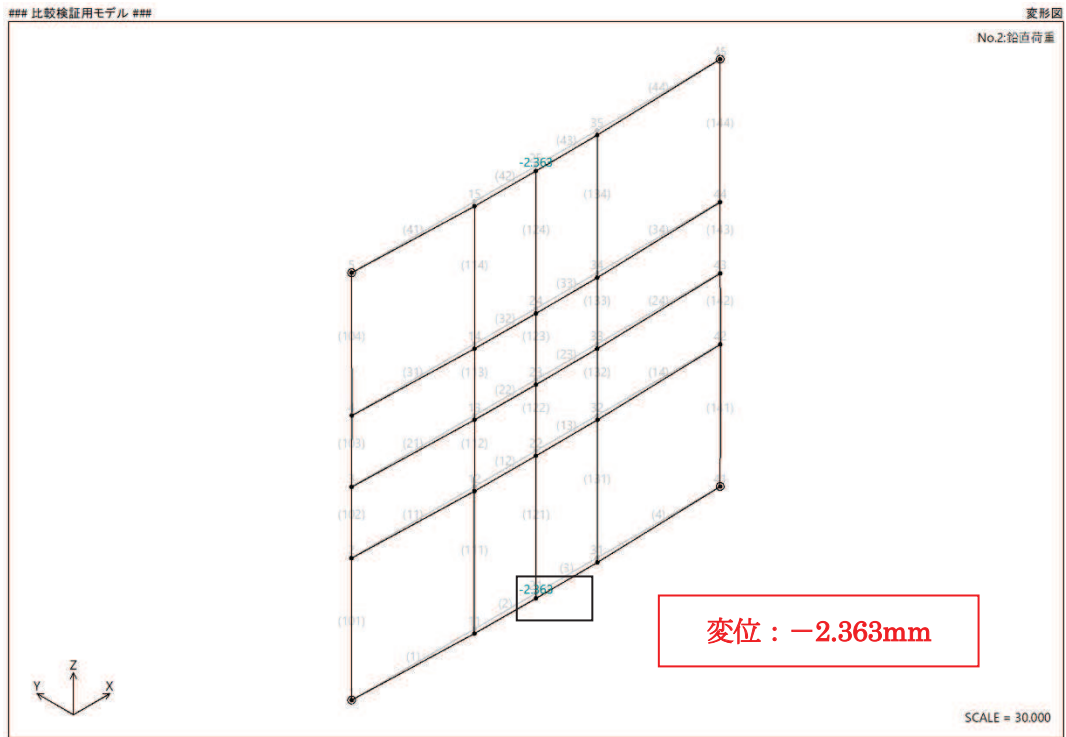


図3-25 APOLLO Analyzer 解析結果(変位/鉛直荷重)

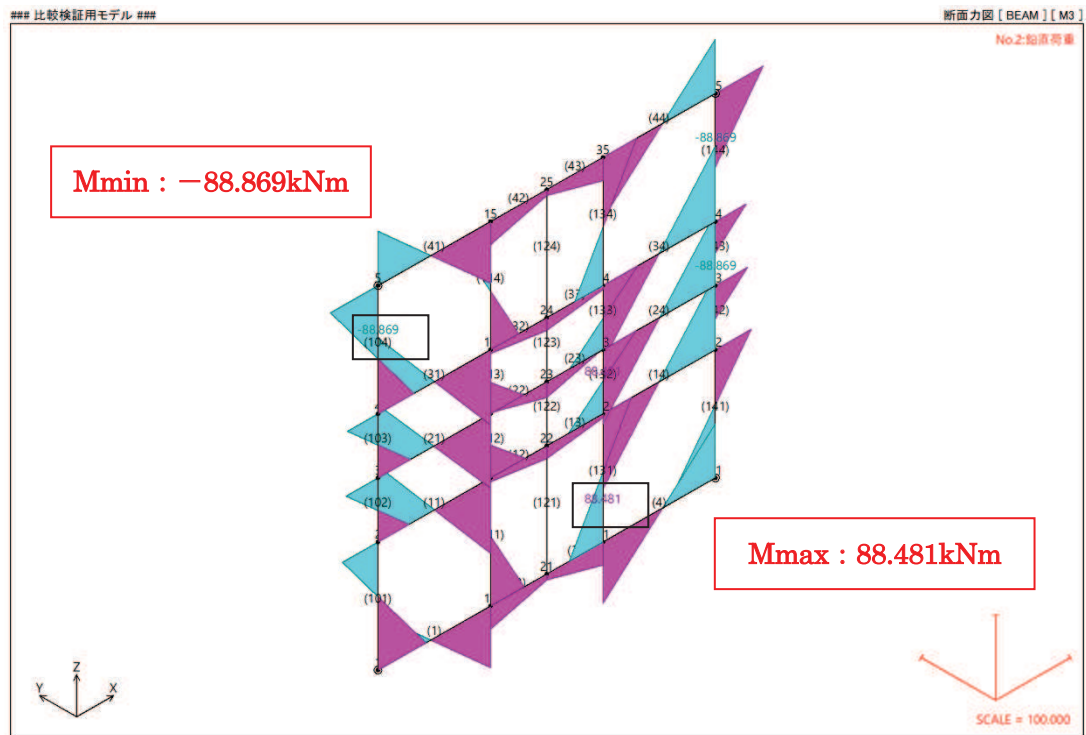


図3-26 APOLLO Analyzer 解析結果(曲げモーメント/鉛直荷重)

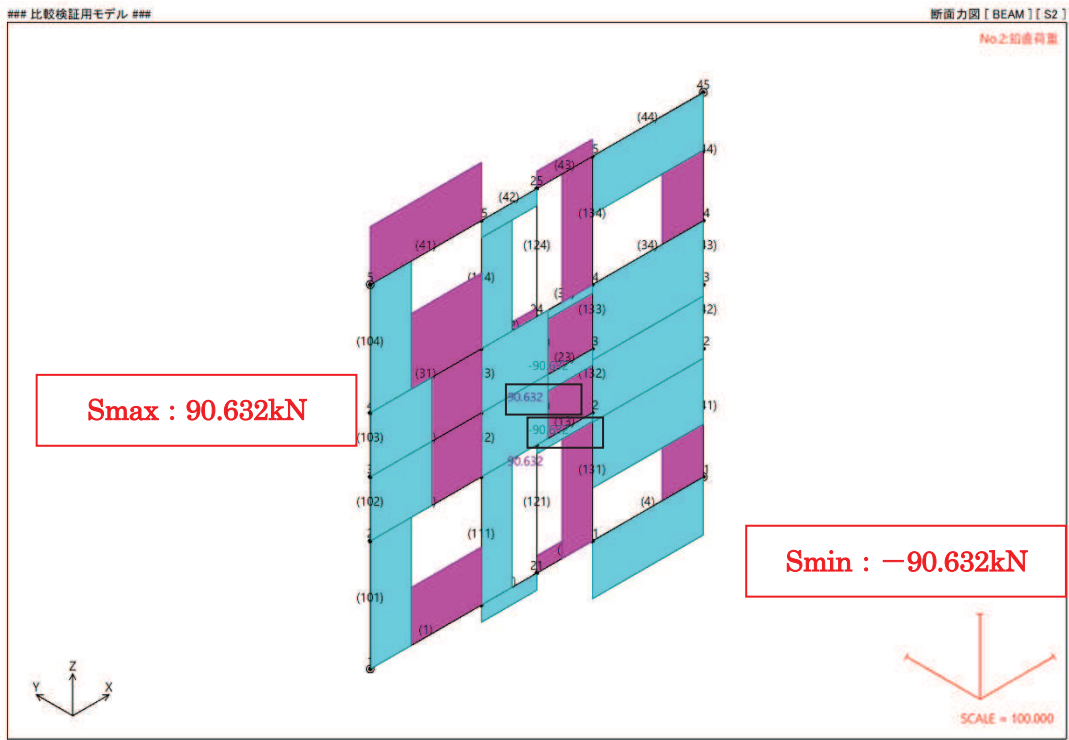


図3-27 APOLLO Analyzer 解析結果(せん断力/鉛直荷重)

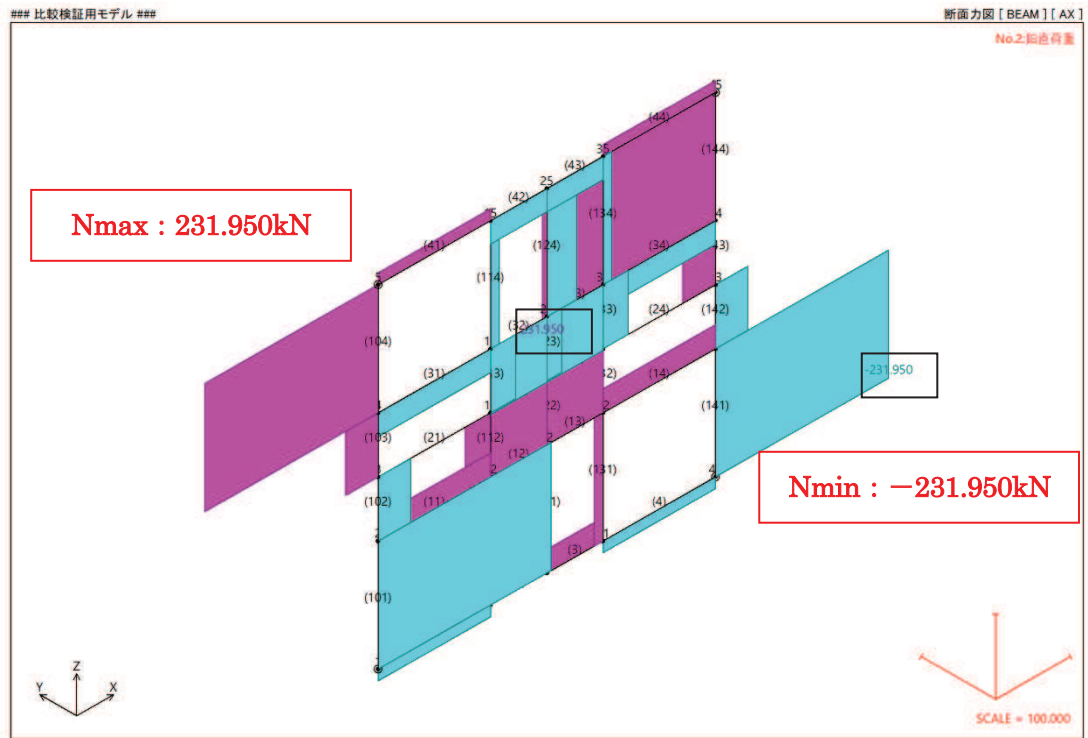


図3-28 APOLLO Analyzer 解析結果(軸力/鉛直荷重)

表3-5 TDAPⅢとAPOLLO Analyzerの解析結果の比較

		TDAP Ⅲ	APOLLO Analyzer	比率	
水平荷重	δ (mm)	-33.007	-33.007	100%	
	M (kNm)	Max	308.450	308.447	99.999%
		Min	-1.282	-1.282	100%
	S (kN)	Max	150.000	150.000	100%
		Min	-150.000	-150.000	100%
鉛直荷重	δ (mm)	-2.363	-2.363	100%	
	M (kNm)	Max	88.481	88.481	100%
		Min	-88.869	-88.869	100%
	S (kN)	Max	90.632	90.632	100%
		Min	-90.632	-90.632	100%
	N (kN)	Max	231.950	231.950	100%
		Min	-231.950	-231.950	100%

TDAPⅢとAPOLLO Analyzerの解析結果が良く一致していることを確認しており、断面力及び変位の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(3) 使用内容に対する妥当性

鋼製遮水壁（鋼桁）の設計にAPOLLO Analyzerによって算出した断面力及び変位を使用することは、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。

- ・検証内容のとおり、構造力学公式集によって算出した断面力及び変位との比較検証、TDAPⅢによって算出した断面力及び変位との比較検証を行っていることから、解析の目的に照らして使用することは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0066_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-59 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ APOLLO SuperDesigner Section

2021年2月

東北電力株式会社

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
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書	ver. 10.39.0.1
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書	ver. 10.39.0.1

2. 解析コードの概要

項目	コード名 APOLLO SuperDesigner Section
使用目的	鋼部材の断面諸量及び応力算出
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. 39. 0. 1
コードの概要	APOLLO SuperDesigner Section (以下「本解析コード」という。)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計算機プログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードを用いて算出した断面諸量及び応力が、構造力学公式集によって算出した断面諸量及び道路橋示方書によって算出した応力と一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画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。 ・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。

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

3.1 一般事項

本解析コードは、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

本解析コード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

- ・せん断流理論を用いたせん断力の計算において、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 40 mm 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道路橋示方書どおりの許容応力度を使用する。
 - ②40 mm 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 3 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。

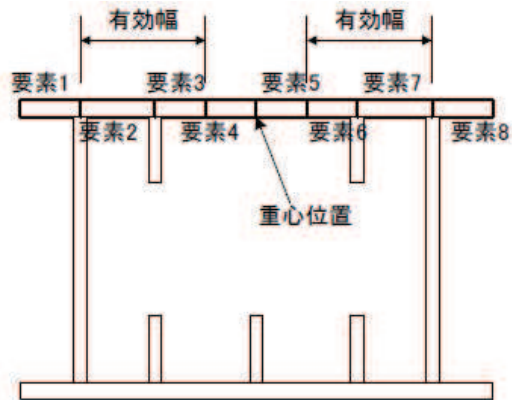
3.3 解析手法

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、有効幅位置等）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



(1) 断面積及び重心位置

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

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）

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

$$X_c = R_0 - R$$

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

ここに 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

$$I_x = R_0 \times \Sigma [(I_{x'j} + A_j \times Y_j^2) / \rho_j]$$

$$I_y = R_0 \times \Sigma [(I_{y'j} + A_j \times X_j^2) / \rho_j]$$

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

ここに $I_{x'}$, $I_{y'}$, $I_{xy'}$: 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

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

ここに Σ : 閉断面を構成する要素の総和

R_0 : 重心位置曲率半径

ρ_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

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

ここに, ρ : 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

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

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

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

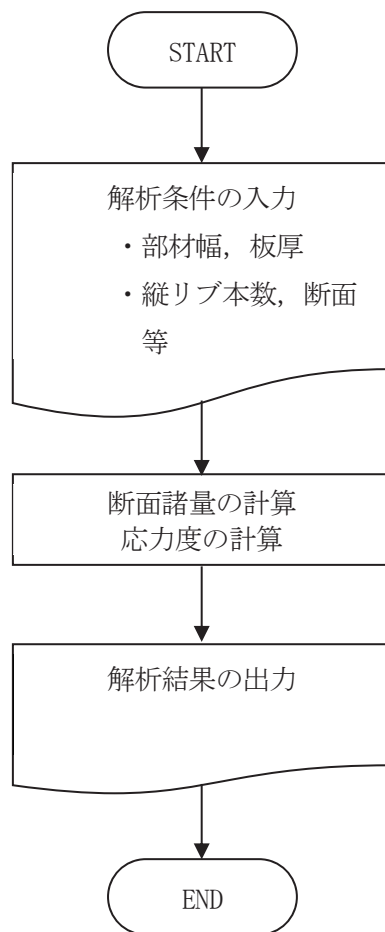


図 3-1 解析フローチャート

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と Section の出力結果による比較検証

図 3-2 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。

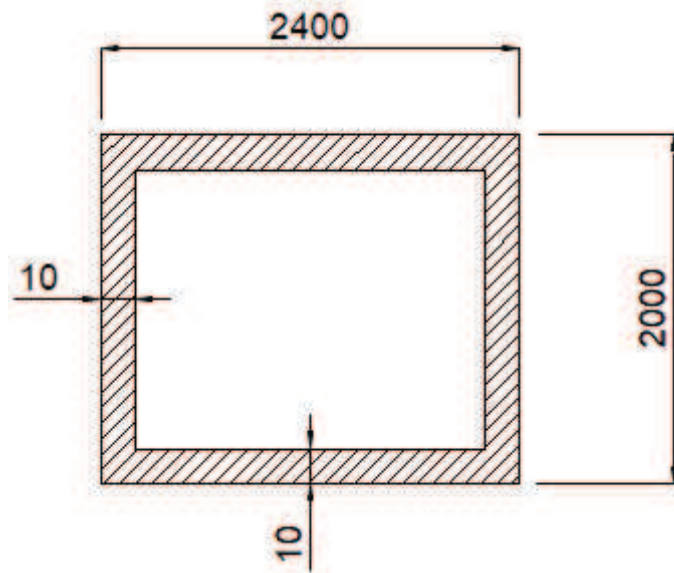


図 3-2 ねじり剛性検討断面

構造力学公式集により算出したねじり剛性

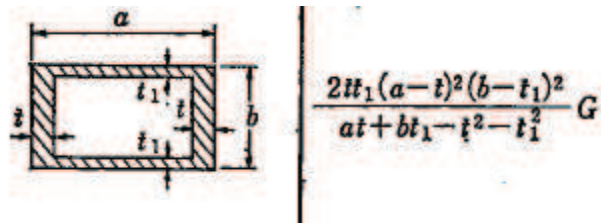


図 3-3 ねじり剛性 算出式 (構造力学公式集 P. 46 より引用)

$a = 2400 \text{ (mm)}$, $b = 2000 \text{ (mm)}$, $t_1 = 10 \text{ (mm)}$, $t = 10 \text{ (mm)}$ より,

$$\begin{aligned}
 J &= \{2 \times 10 \times 10 \times (2400 - 10)^2 \times (2000 - 10)^2\} / (2400 \times 10 + 2000 \times 10 - 10^2 - 10^2) \\
 &= 103289895936 \text{ (mm}^4\text{)} \\
 &= 10328990 \text{ (cm}^4\text{)}
 \end{aligned}$$

APOLLO SuperDesigner Section 出力結果

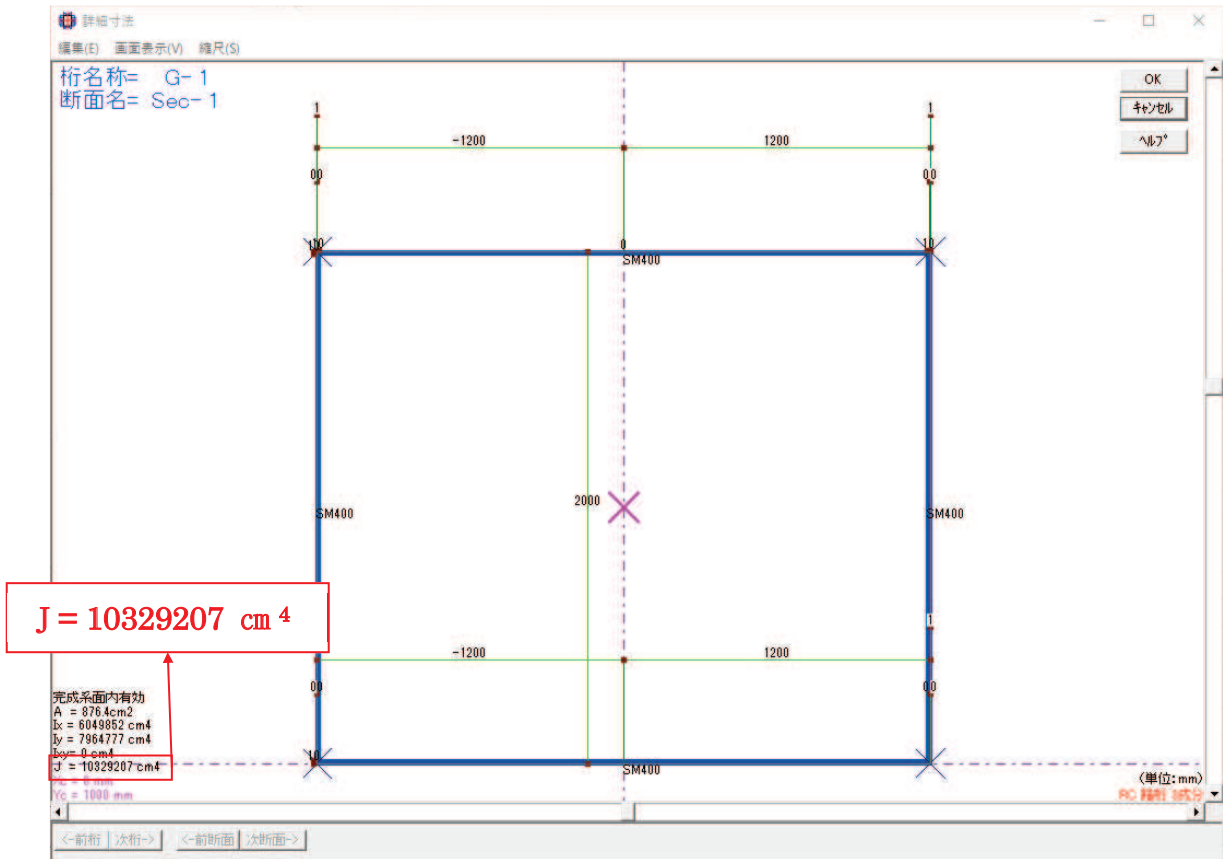


図 3-4 Section 算出結果 (ねじり剛性)

表 3-1 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	
ねじれ剛性 J (cm ⁴)	10328990	10329207	99.998%

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、ねじれ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) 構造力学公式集により算出した断面二次モーメント及び道路橋示方書により算出した応力と APOLLO SuperDesigner Section の出力結果による比較検証

図 3-5 に示す断面において構造力学公式集により断面諸量及び道路橋示方書により応力を算出し、プログラムの出力結果と比較する。

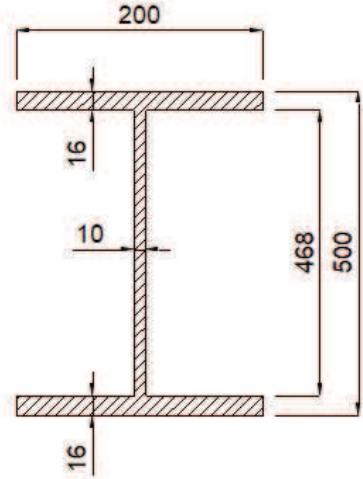


図 3-5 断面諸量・応力検討断面

構造力学公式集により算出した応力

・断面二次モーメントの算出

2.1.2 断面二次モーメント，断面相乗モーメント，断面二次半径，断面係数

図 2.1 において次式で与えられる量を，それぞれ y, z 軸まわりの断面二次モーメントという。

$$I_{yy} = \int_A z^2 dA, \quad I_{zz} = \int_A y^2 dA \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

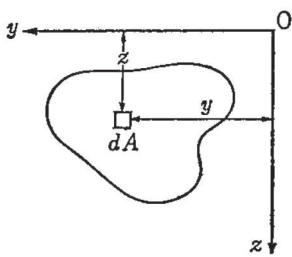


図 2.1 部材の断面

図 3-6 断面二次モーメント算出式（構造力学公式集 P. 43 より引用）

- ・垂直応力度，せん断応力度，合成応力度の算出

11.2.2 曲げモーメントによる垂直応力度

曲げモーメントによる垂直応力度は，式 (11.2.1) で算出する。ただし，引張フランジにボルトの孔がある場合には，式 (11.2.1) による引張フランジ応力度に (引張フランジ総断面積/引張フランジ純断面積) を乗じる。

$$\sigma_b = \frac{M}{I} y \quad \text{..... (11.2.1)}$$

ここに， σ_b : 曲げモーメントによる垂直応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

I : 総断面の中立軸のまわりの断面二次モーメント (mm⁴)

y : 中立軸から着目点までの距離 (mm)

図 3-7 垂直応力度算出式 (道路橋示方書Ⅱ P.304 より引用)

11.2.3 腹板の曲げに伴うせん断応力度

腹板の曲げに伴うせん断応力度は，式 (11.2.2) で算出してもよい。

$$\tau_b = \frac{S}{A_w} \quad \text{..... (11.2.2)}$$

ここに， τ_b : 曲げに伴うせん断応力度 (N/mm²)

S : 曲げに伴うせん断力 (N)

A_w : 腹板の総断面積 (mm²)

図 3-8 せん断応力度算出式 (道路橋示方書Ⅱ P.305 より引用)

11.2.5 合成応力度の照査

(1) 曲げモーメント及び曲げモーメントに伴うせん断力のみが作用する断面で，垂直応力度及び曲げに伴うせん断応力度がともに 3.2.1 に規定する許容応力度の 45% を超える場合は，曲げモーメント及び曲げに伴うせん断力がそれぞれ最大となる荷重状態について，式 (11.2.3) を満たさなければならない。

$$\left. \begin{aligned} & \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau_b}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.2 \\ & \sigma_b \leq \sigma_a \\ & \tau_b \leq \tau_a \end{aligned} \right\} \quad \text{..... (11.2.3)}$$

図 3-9 合成応力度算出式 (道路橋示方書Ⅱ P.307 より引用)

$$\begin{aligned}
 M &= 50 \text{ kN} \cdot \text{m} \\
 &= 50000000 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 S &= 250 \text{ kN} \\
 &= 250000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

の断面力が断面に発生しているとして応力計算を行う。

$$\begin{aligned}
 I &= 200 \times 500^3 / 12 - (200-10) \times (500-16 \times 2)^3 / 12 \\
 &= 460365493.3 \text{ mm}^4 \\
 &= 46037 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 200 \times 16 \times 2 + 468 \times 10 \\
 &= 11080 \text{ mm}^2 \\
 &= 110.8 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_w &= 468 \times 10 \\
 &= 4680 \text{ mm}^2 \\
 &= 46.8 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_u \text{ UFLG} &= -500 / 2 = -250 \text{ mm} , \quad y_l \text{ LFIG} = 500 / 2 = 250 \text{ mm} \\
 y_u \text{ WEB} &= -500 / 2 + 16 = -234 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_u \text{ UFLG} &= 50000000 \times -250 / 460365493 = -27.15 \approx -27.2 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_l \text{ LFIG} &= 50000000 \times 250 / 460365493 = 27.15 \approx 27.2 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_u \text{ WEB} &= 50000000 \times -234 / 460365493 = -25.41 \approx -25.4 \text{ N/mm}^2 \\
 \tau &= 250000 / 4680 = 53.41 \approx 53.4 \text{ N/mm}^2 \\
 \kappa &= (-25.4 / 140)^2 + (53.4 / 80)^2 = 0.478 \approx 0.48
 \end{aligned}$$

APOLLO SuperDesigner Section 出力結果

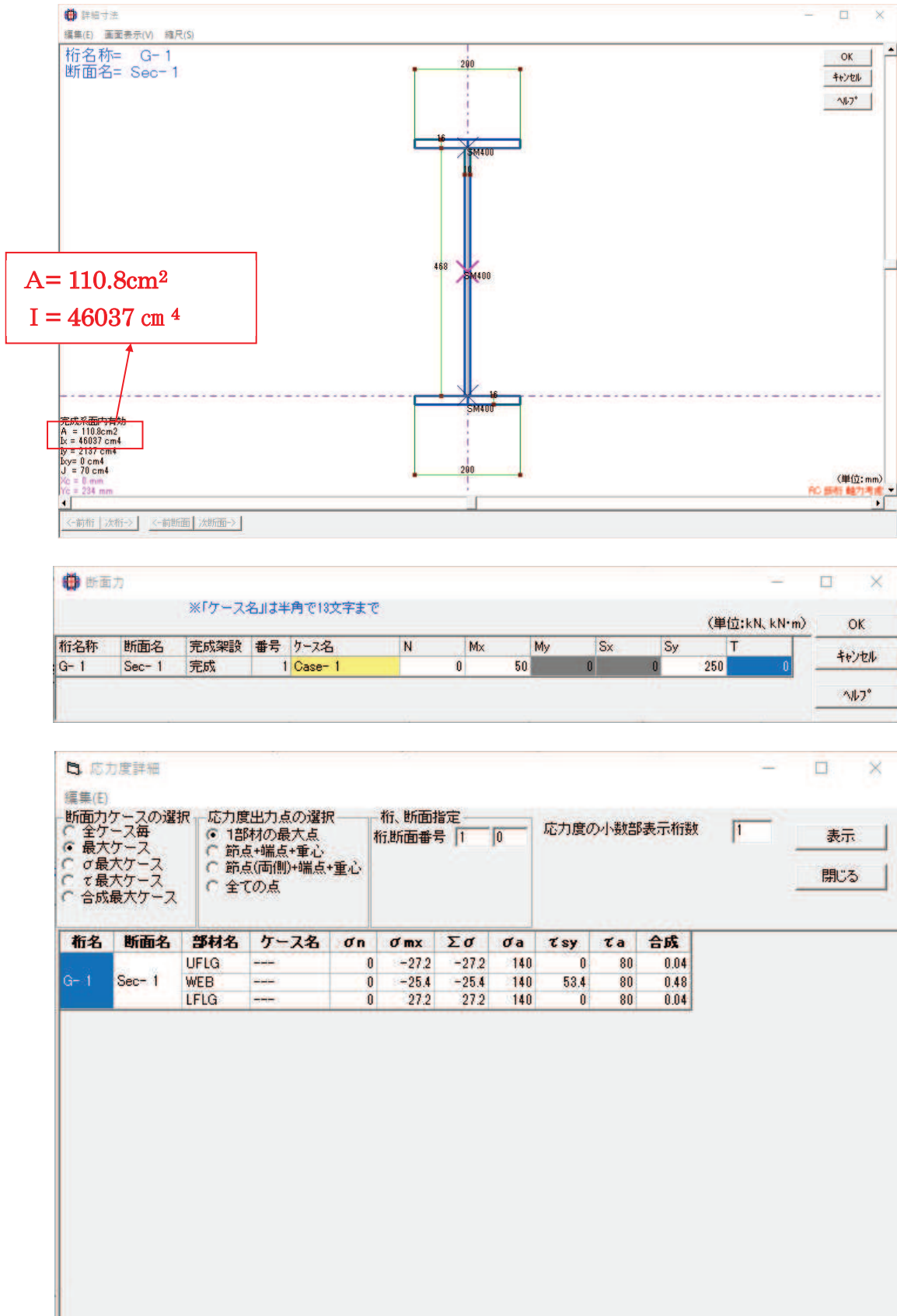


図 3-10 Section 算出結果 (断面諸量・応力)

表 3-2 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	
断面諸量	断面二次モーメント $I (\text{cm}^4)$	46037	46037	100%
	断面積 $A (\text{cm}^2)$	110.8	110.8	100%
応力	垂直応力 $\sigma_u \text{ UFLG} (\text{N/mm}^2)$	-27.2	-27.2	100%
	垂直応力 $\sigma_l \text{ LFLG} (\text{N/mm}^2)$	27.2	27.2	100%
	垂直応力 $\sigma_u \text{ WEB} (\text{N/mm}^2)$	-25.4	-25.4	100%
	せん断応力 $\tau (\text{N/mm}^2)$	53.4	53.4	100%
	合成応力度 κ	0.48	0.48	100%

構造力学公式集の計算結果と APOLLO SuperDesigner Section の出力結果が一致していることを確認しており、応力の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(3) 使用内容に対する妥当性

鋼製遮水壁（鋼桁）の設計に本解析コードによって算出したねじれ剛性、断面二次モーメント及び応力を使用することは、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、構造力学公式集によって算出したねじれ剛性、断面二次モーメント及び道路橋示方書によって算出した応力と比較検証を行っていることから、解析の目的に照らして本工事計画の解析に使用することは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0067_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-60 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FRAMEマネージャ

2021年2月

東北電力株式会社

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. 解析手法	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	6
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (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）FRAMEマネージャ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
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書	ver. 6. 0. 1
VI-3-別添 3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の強度計算書	ver. 6. 0. 1

2. 解析コードの概要

コード名 項目	FRAME マネージャ
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	1996年
使用したバージョン	ver. 6.0.1
コードの概要	<p>FRAME マネージャ（以下「本解析コード」という。）は、平面骨組構造解析の汎用市販コードである。</p> <p>本解析コードの解析部分は微小変位理論に基づいており、格子点変位を未知量とする多元連立方程式を解くことによって所要の変位・断面力・反力を算出する。この連立方程式は、構造データから決定される剛性マトリックスと荷重データから決定される荷重ベクトルから構成される。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・単純はりモデルに対して本解析コードを用いて算出した断面力及び変位が構造力学公式集を用いて算出した断面力及び変位と一致することを確認している。 ・格子モデルに対して、本解析コードで算出した断面力及び変位が、日本原子力発電株式会社東海第二発電所の防潮堤（鋼製防護壁）の3次元骨組みモデルにて使用実績のある TDAPⅢ (ver3.08) で同様のモデルを解析した際に算出される断面力及び変位と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画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。 ・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。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、任意の骨組み構造に対して構造解析を行うプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

・機能

本解析コードは以下の機能により構成される。

- ・面内解析・・・面内荷重（骨組み構造に平行な荷重）を解析する。
- ・面外解析・・・面外荷重（骨組み構造に垂直な荷重）を解析する。
- ・IL解析・・・移動荷重，固定荷重を影響線処理する。
- ・結果集計・・・面内解析，面外解析，IL解析の結果を集計し編集出力する。

・モデルの定義

実際の構造物をモデル化するために、本プログラムが用意している構造モデルの種類は以下のものがある。

- ・部材モデル（骨組み構造の部材断面及び接合方法の設定）
- ・格点モデル（骨組み構造の格点座標の設定）
- ・支点モデル（支持位置及び支持方法の設定）

モデル化された骨組み構造はウィンドウ上に描画され、モデルの格点番号・部材番号が表示される。作成したモデルのエラーチェックを視覚的に行うことが可能である。

・荷重の定義

対象構造物に作用する自重等の荷重をモデル化するために、本プログラムが用意している荷重の種類として、部材分布荷重，部材集中荷重，格点集中荷重，温度荷重，プレストレス荷重，支点強制変位がある。これらの荷重を基本ケースとして組み合わせ解析を行うことができる。

・解析結果の出力・図化

解析結果として以下を出力することができる。

a) 変形図・断面力図

変形図，断面力図は定義した荷重ケース若しくは別途定義した荷重の組み合わせごとに出力することが可能である。入力モデルや支点，荷重等の出力を始めとして，断面力，変位並びに反力等の作図結果を DXF ファイルに出力する補助機能を有する。本機能により出力されたファイルは汎用 CAD アプリケーションで読み込み，編集・出力が可能である。部材集中荷重の載荷位置や最大・最小部材力位置を抽出し，着目点を自動追加する任意の着目点の断面力・変位を出力する機能を有する。

b) 解析結果リスト

解析結果を成果品として保存することができる。保存するデータの種類として，テキストデータ（CSV形式，TXT形式），DOC形式データ（MS-WORD）等に対応する。

3.3 解析理論

本解析コードは構造解析システムとして微小変位理論に基づく変位法を用いている。
変位法について以下に示す。

- ① 構造物に外力が働いた場合に生じる変位を求める。
- ② ①で求めた変位を用いて断面力を算出する。

外力と変位の関係式

$$\{F\} = [K] \times \{U\}$$

$\{F\}$: 外力ベクトル (荷重ベクトル), $[K]$: 全体剛性マトリックス, $\{U\}$: 変位ベクトル

外力と全体剛性マトリックスの逆行列から変位ベクトルを求める。

$$\{U\} = [K]^{-1} \times \{F\}$$

$[K]^{-1}$: $[K]$ の逆行列

求めた変位ベクトルから要素座標系の変位ベクトルを求め、要素座標系の変位ベクトルと要素剛性マトリックスから断面力を求める。

$$\{f_e\} = [k_e] \times \{u_e\}$$

$\{f_e\}$: 要素断面力ベクトル, $[k_e]$: 要素剛性マトリックス, $\{u_e\}$: 要素座標系での変位ベクトル

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

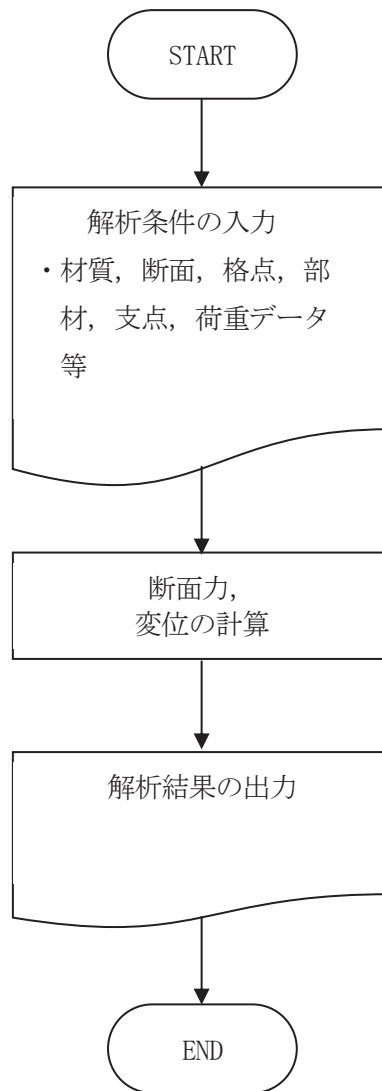


図3-1 解析フローチャート

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

(1) 単純梁モデルに対する比較検証

以下に示す断面諸元を持つ単純梁において図3-2に示すような荷重がそれぞれ作用した場合の支間中央部の断面力 (M, S) 及び変位 (δ) を図3-3及び図3-4に示す構造力学公式集を用いて算出し、プログラムの出力結果と比較する。

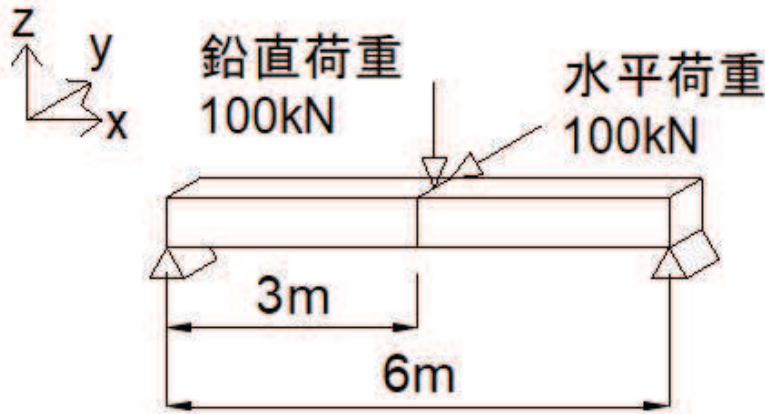


図3-2 単純梁モデル

表3-1 単純梁の断面諸元

項目	諸元値
支間長 (= l)	6 (m)
ヤング率 (= E)	200000000 (kN/m ²)
断面剛性 (= I _y)	0.0004 (m ⁴)
断面剛性 (= I _z)	0.0006 (m ⁴)
作用荷重 (= P)	100 (kN)

構造力学公式集により算出した断面力及び変位

荷重, たわみ曲線, せん断力図, 曲げモーメント図	反力 R_A, R_B , せん断力 Q	曲げモーメント M
1)	$R_A = R_B = \frac{P}{2}$ $Q_1 = \frac{P}{2}$ $Q_2 = -\frac{P}{2}$	$M_1 = \frac{P}{2} x$ $M_2 = \frac{P}{2} x'$ $M_{max} = \frac{Pl}{4}, [x = \frac{l}{2}]$

図3-3 せん断・曲げ算出式 (構造力学公式集P.134より引用)

たわみ w	たわみ角 θ	支点たわみ角 θ_A, θ_B
$w_1 = \frac{Pl^3}{48EI} \left\{ 3\frac{x}{l} - 4\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right\}$ $w_2 = \frac{Pl^3}{48EI} \left\{ 3\frac{x'}{l} - 4\left(\frac{x'}{l}\right)^3 \right\}$ $w_{max} = \frac{Pl^3}{48EI}, \left[x = \frac{l}{2} \right]$	$\theta_1 = -\frac{Pl^2}{16EI} \left\{ 1 - 4\left(\frac{x}{l}\right)^2 \right\}$ $\theta_2 = \frac{Pl^2}{16EI} \left\{ 1 - 4\left(\frac{x'}{l}\right)^2 \right\}$	$\theta_A = -\frac{Pl^2}{16EI}$ $\theta_B = -\theta_A$

図3-4 たわみ算出式 (構造力学公式集P. 135より引用)

(a) 鉛直荷重

$$\begin{aligned}
 M &= P \times l/4 \\
 &= 100 \times 6/4 \\
 &= 150 \text{ (kNm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= P/2 \\
 &= 100/2 \\
 &= \pm 50 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= P \times l^3 / (48 \times E \times I_y) \\
 &= 100 \times 6^3 / (48 \times 200000000 \times 0.0004) \\
 &= 0.005625 \text{ (m)} = 5.625 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

(b) 水平荷重

$$\begin{aligned}
 M &= P \times l/4 \\
 &= 100 \times 6/4 \\
 &= 150 \text{ (kNm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= P/2 \\
 &= 100/2 \\
 &= \pm 50 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= P \times l^3 / (48 \times E \times I_z) \\
 &= 100 \times 6^3 / (48 \times 200000000 \times 0.0006) \\
 &= 0.00375 \text{ (m)} = 3.75 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

FRAMEマネージャにより算出した断面力及び変位

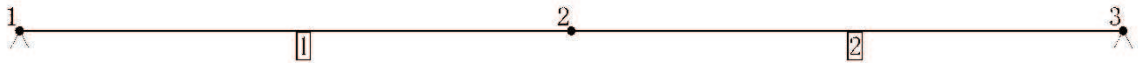
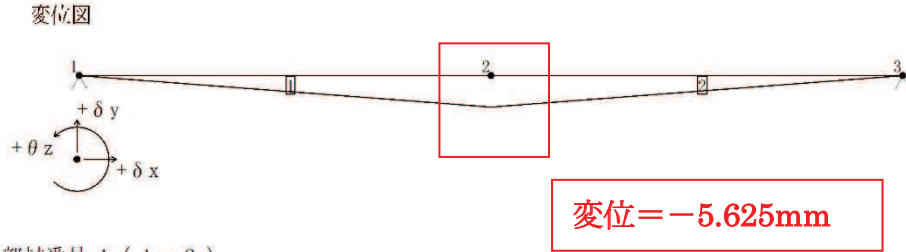


図3-5 単純梁 解析モデル

(a) 鉛直荷重載荷



部材番号 1 (1 - 2)

着目点	距離 (m)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	回転変位 θz (mrad)
i	0.000	0.00000	0.00000	-2.81250
j	3.000	0.00000	-5.62500	0.00000
MAX	0.000	0.00000	0.00000	-2.81250
MIN	3.000	0.00000	-5.62500	0.00000

部材番号 2 (2 - 3)

着目点	距離 (m)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	回転変位 θz (mrad)
i	0.000	0.00000	-5.62500	0.00000
j	3.000	0.00000	0.00000	2.81250
MAX	3.000	0.00000	0.00000	2.81250
MIN	0.000	0.00000	-5.62500	0.00000

断面力Mz図

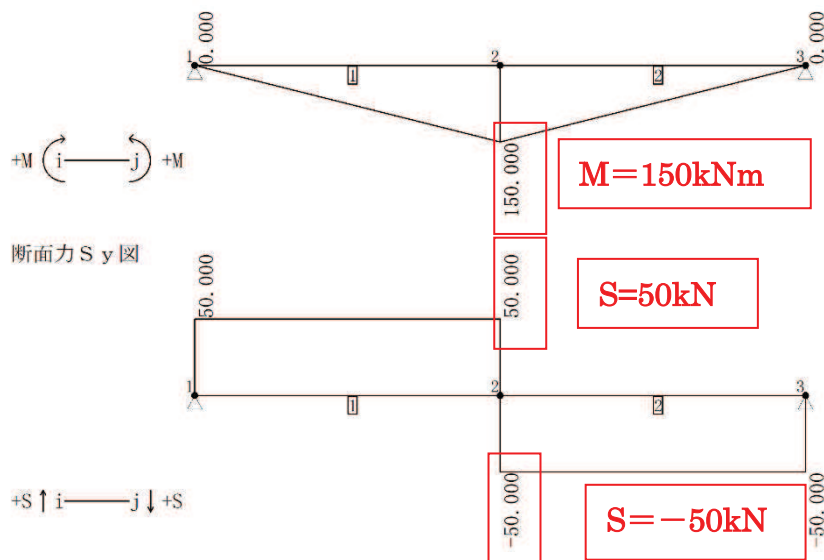
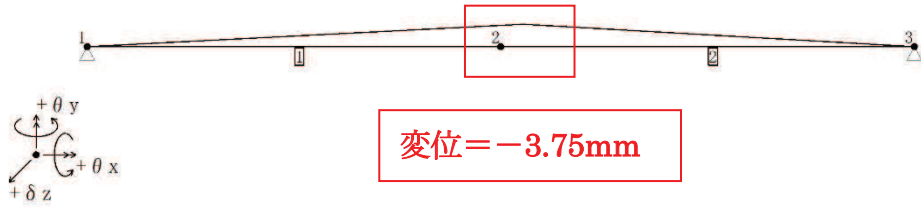


図3-6 FRAMEマネージャ解析結果 (鉛直荷重)

(b) 水平荷重載荷
変位図



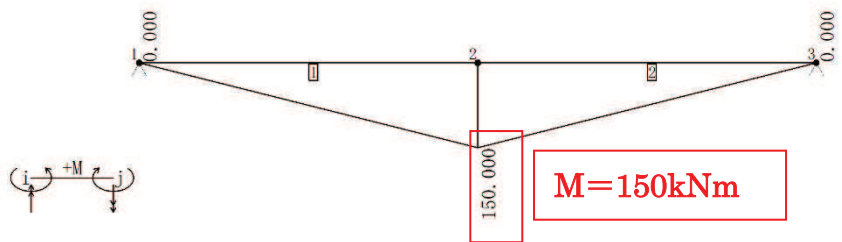
部材番号 1 (1 - 2)

着目点	距離 (m)	X軸回り変位 θ_x (mrad)	Y軸回り変位 θ_y (mrad)	Z軸方向変位 δ_z (mm)
i	0.000	0.00000	1.87500	0.00000
j	3.000	0.00000	0.00000	-3.75000
MAX	0.000	0.00000	1.87500	0.00000
MIN	3.000	0.00000	0.00000	-3.75000

部材番号 2 (2 - 3)

着目点	距離 (m)	X軸回り変位 θ_x (mrad)	Y軸回り変位 θ_y (mrad)	Z軸方向変位 δ_z (mm)
i	0.000	0.00000	0.00000	-3.75000
j	3.000	0.00000	-1.87500	0.00000
MAX	3.000	0.00000	-1.87500	0.00000
MIN	0.000	0.00000	0.00000	-3.75000

断面力 M_y 図



断面力 S_z 図

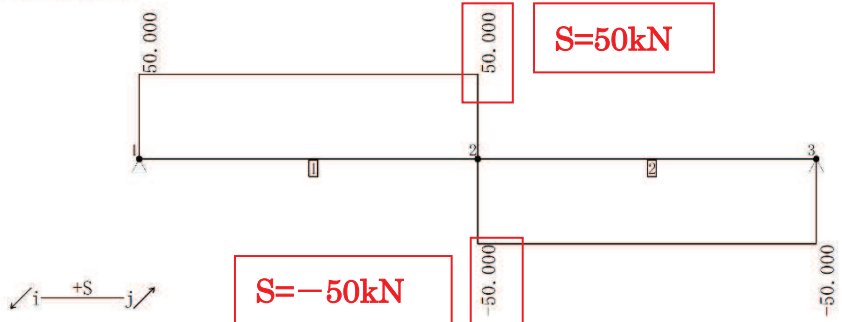


図3-7 FRAMEマネージャ解析結果 (水平荷重)

表3-2 計算例と解析結果の比較

		構造力学公式集	FRAMEマネージャ	比率
鉛直荷重	δ (mm)	-5.625	-5.625	100%
	M (kNm)	150	150	100%
	S (kN)	50	50	100%
水平荷重	δ (mm)	-3.75	-3.75	100%
	M (kNm)	150	150	100%
	S (kN)	50	50	100%

構造力学公式集を用いた計算結果と本解析コードの出力結果が一致していることを確認しており、断面力及び変位の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(2) 格子モデルに対する比較検証

図3-8に示す格子モデルに図3-9及び図3-10に示す荷重がそれぞれ作用した場合の断面力 (M, S, N) 及び変位 (δ) をTDAPⅢと本解析コードで算出し比較する。

解析モデルの構造諸元を表3-3、境界条件を表3-4に示す。

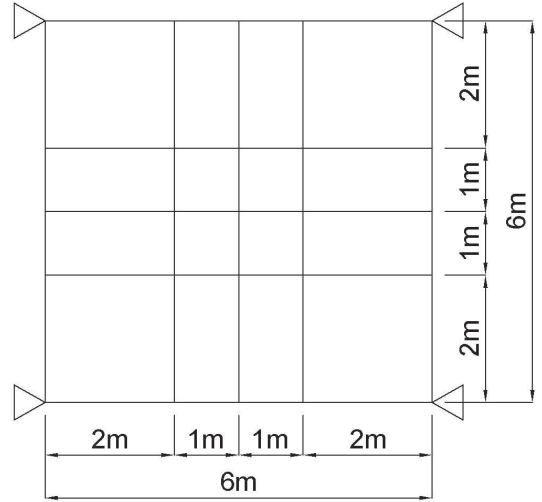
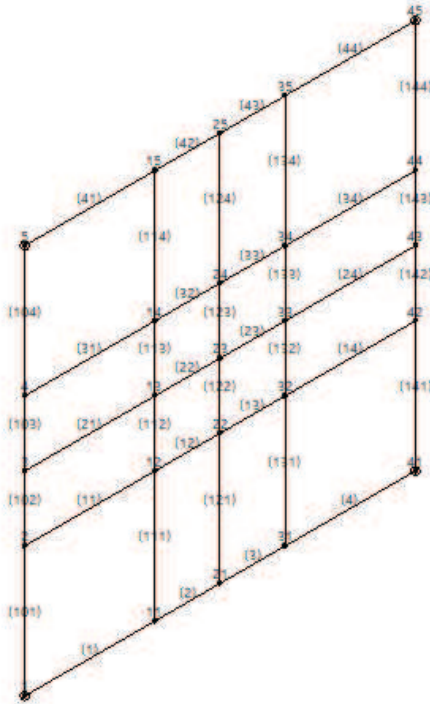


図3-8 比較検証モデル

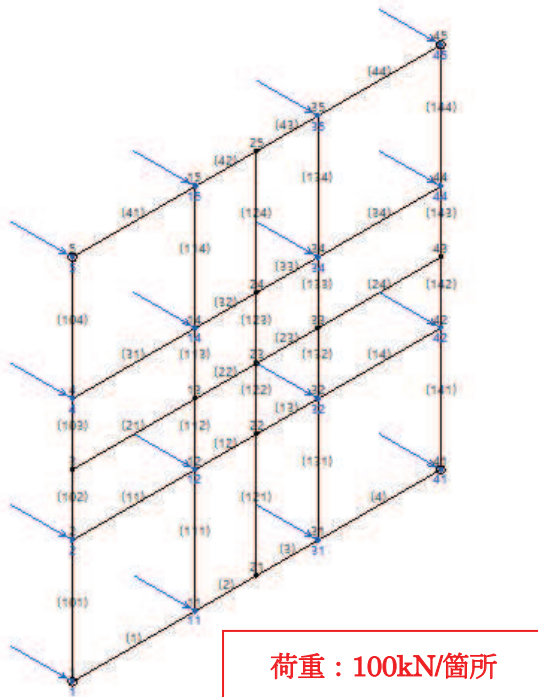


図3-9 水平荷重載荷

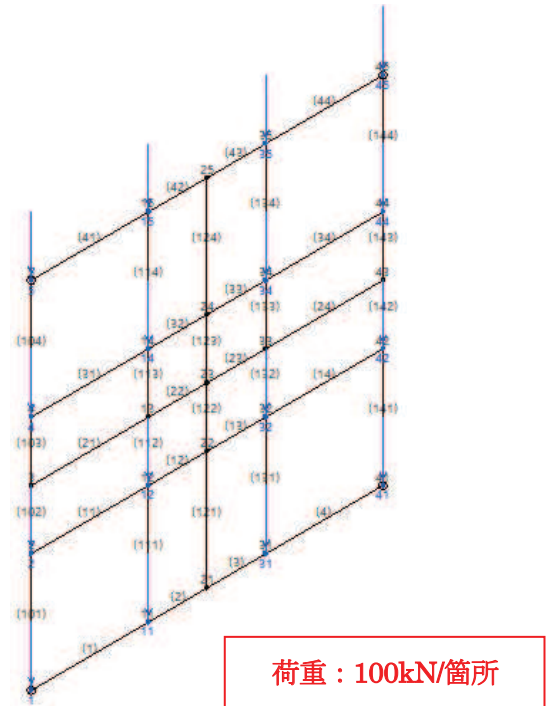


図3-10 鉛直荷重載荷

表3-3 解析モデル 構造諸元

項目		諸元値
支間長 (縦部材)		6 (m)
支間長 (横部材)		6 (m)
ヤング率 (=E)		200000000 (kN/m ²)
断面剛性 (=I _y =I _z)	縦部材	0.0002 (m ⁴)
	横部材	0.0002 (m ⁴)
作用荷重 (=P)		100 (kN/箇所)

表3-4 解析モデル 境界条件

	x 方向	y 方向	z 方向
変形	拘束	拘束	拘束
回転	自由	自由	自由

TDAPIII により算出した断面力及び変位

(a) 水平荷重載荷

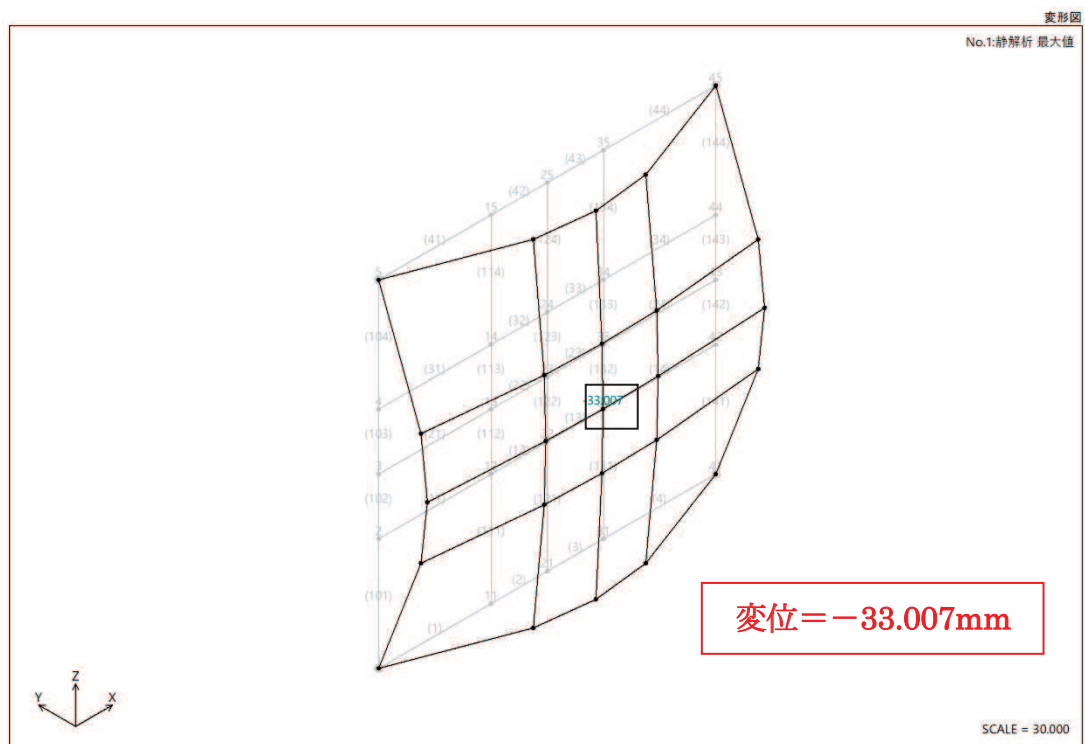


図3-11 TDAPIII 解析結果(変位/水平荷重)

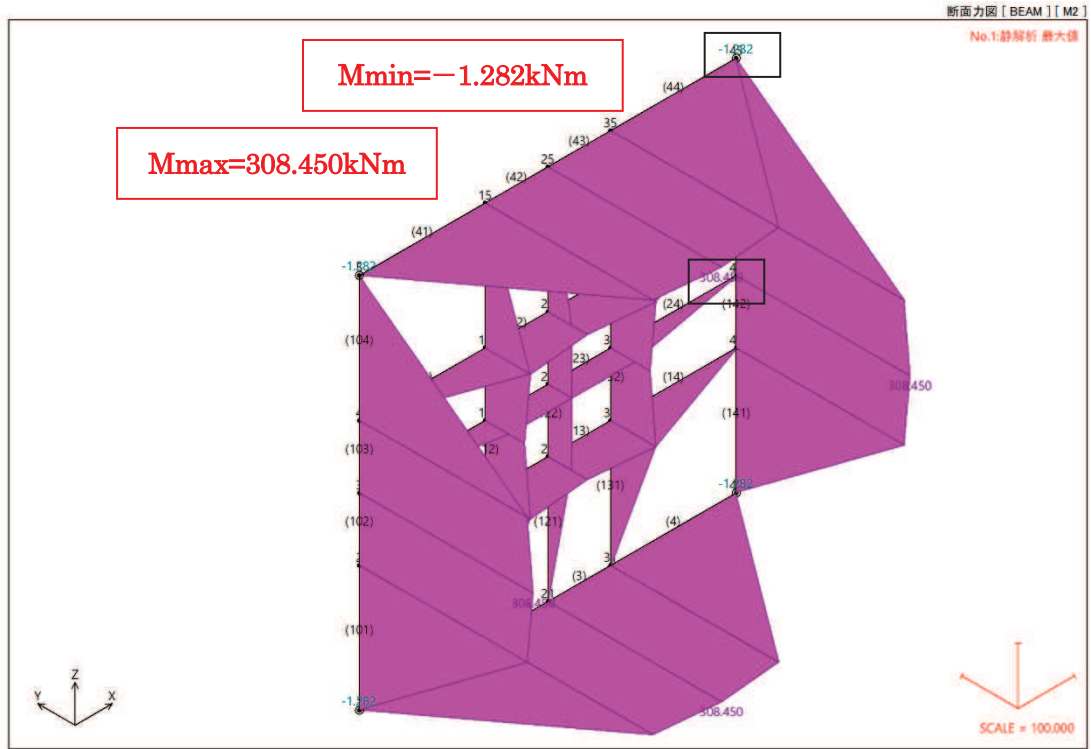


図3-12 TDAPIII 解析結果(曲げモーメント/水平荷重)

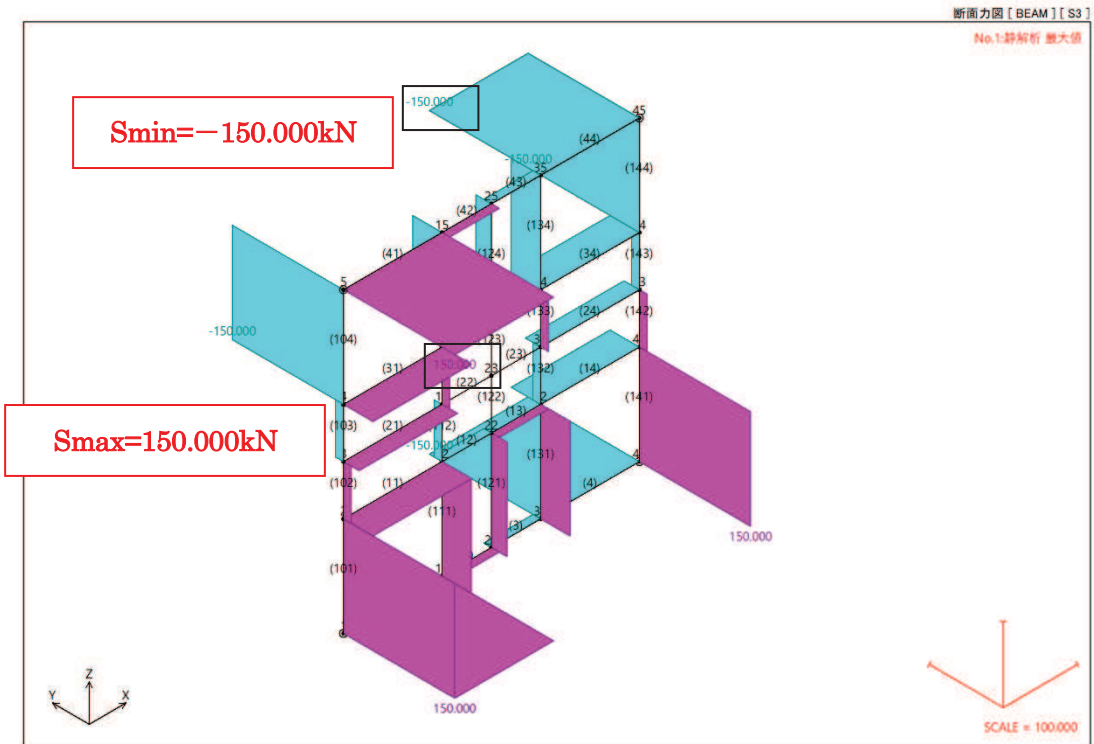


図3-13 TDAPIII 解析結果(せん断力/水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷

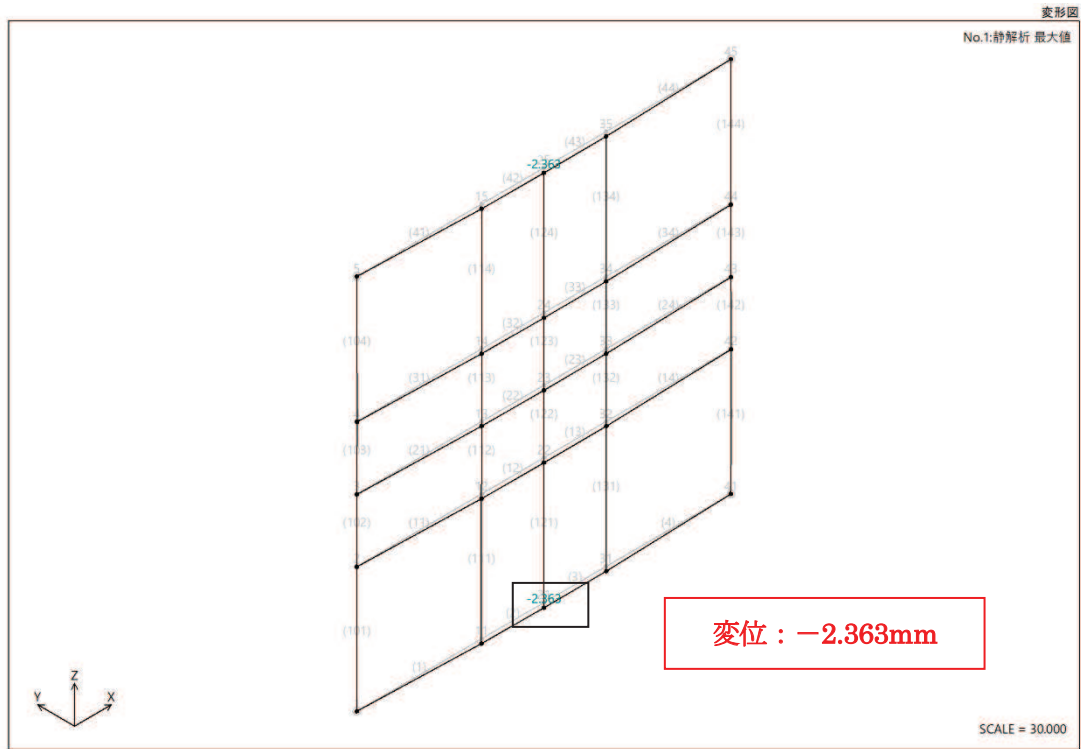


図3-14 TDAP III 解析結果(変位/鉛直荷重)

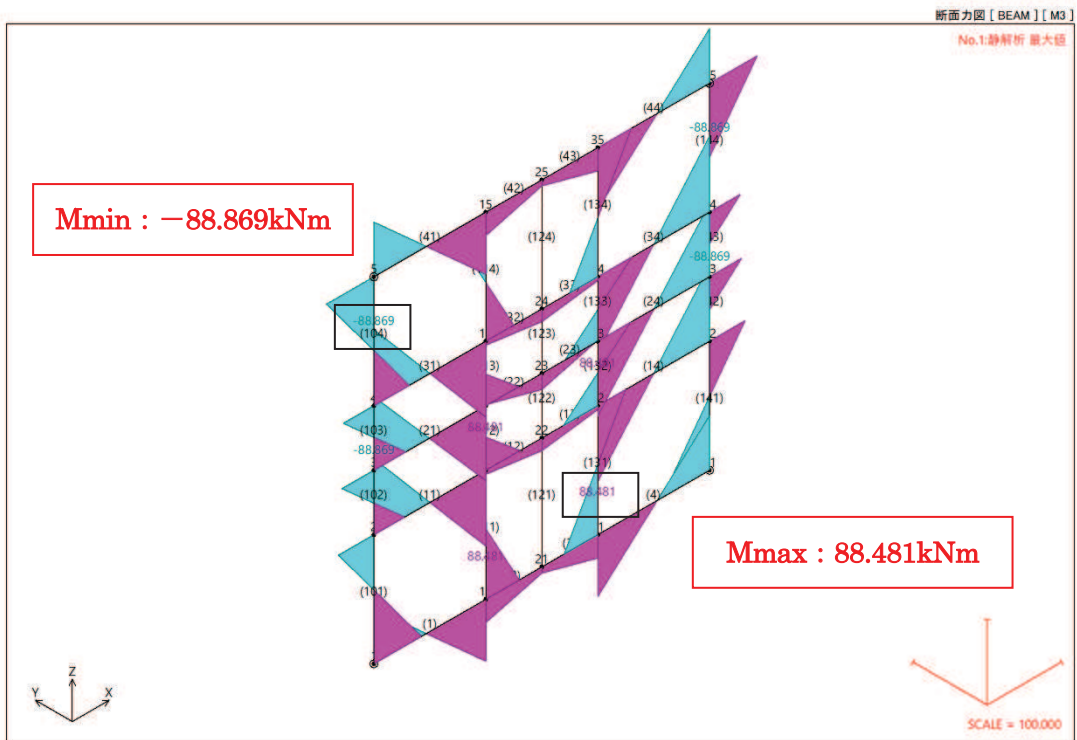


図3-15 TDAP III 解析結果(曲げモーメント/鉛直荷重)

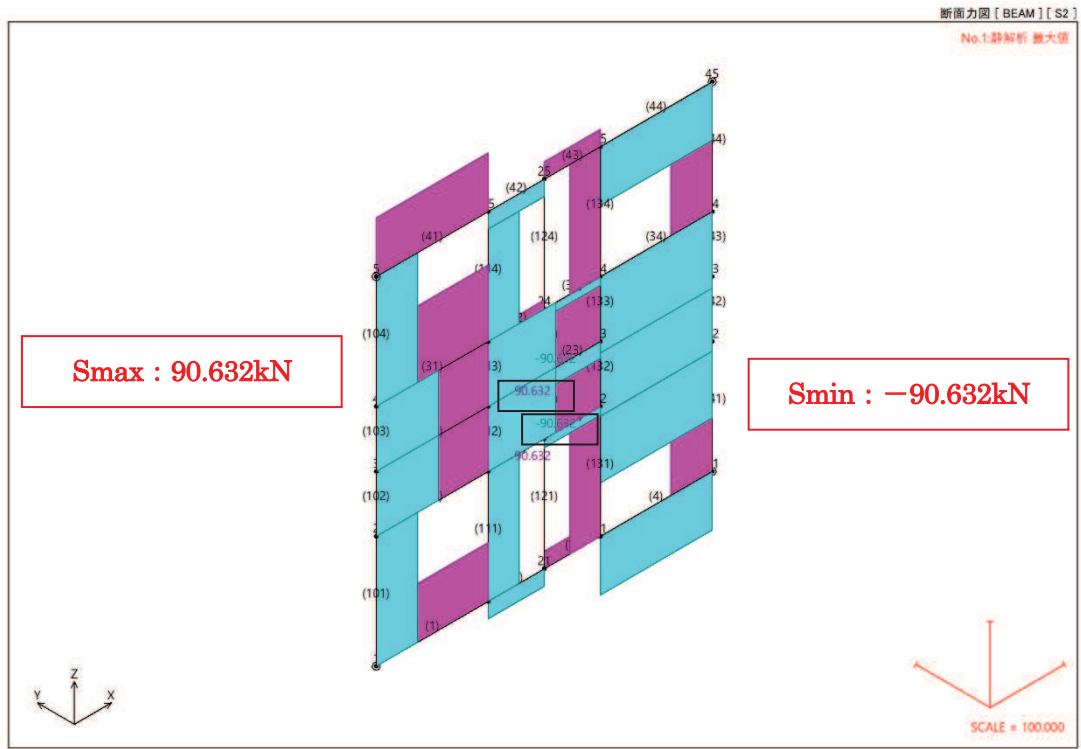


図3-16 TDAPIII 解析結果(せん断力/鉛直荷重)

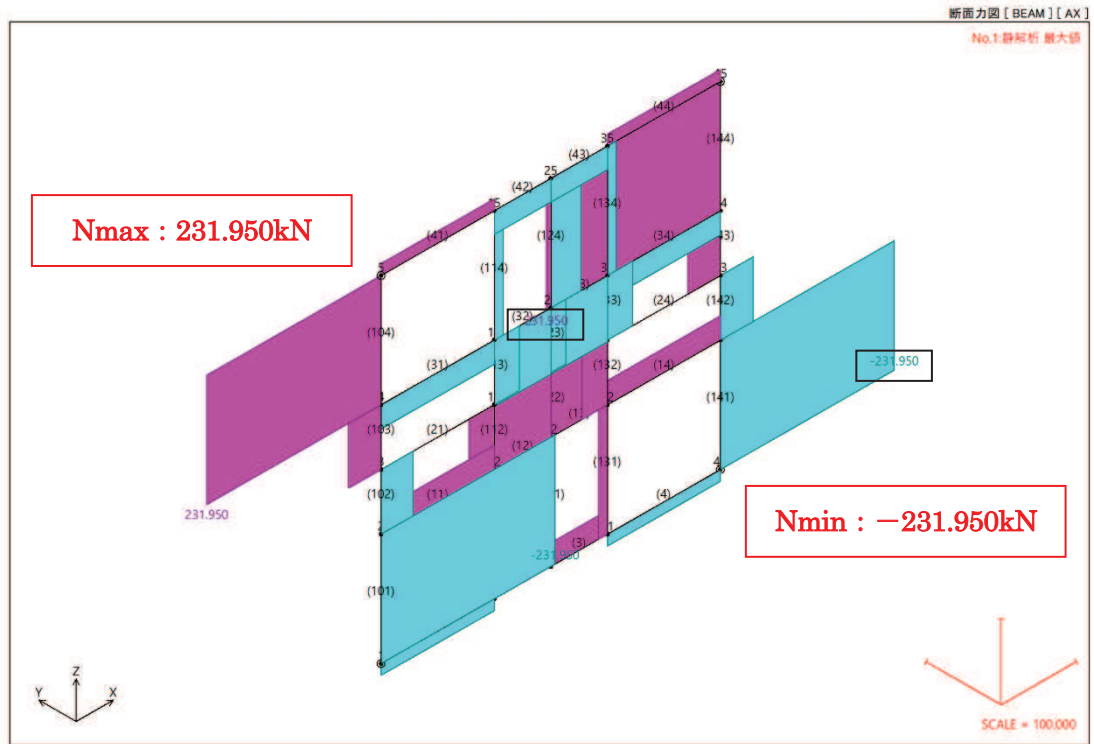
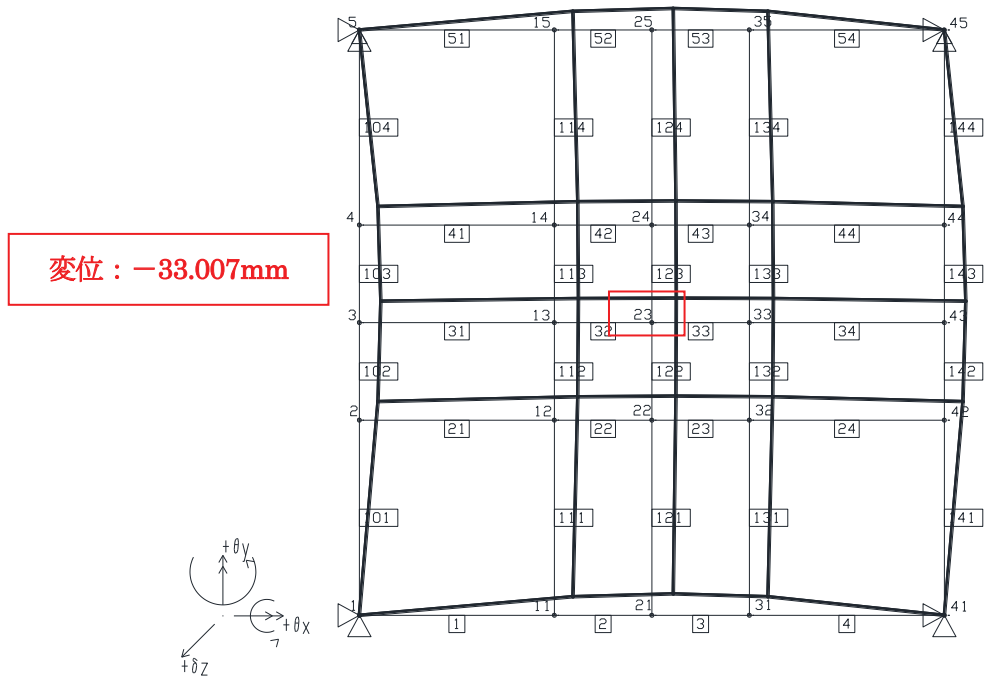


図3-17 TDAPIII 解析結果(軸力/鉛直荷重)

FRAMEマネージャにより算出した断面力及び変位

(a) 水平荷重載荷時



部材番号 22 (13 - 23)

着目点	距離 (m)	X軸回り変位 θ_x (mrad)	Y軸回り変位 θ_y (mrad)	Z軸方向変位 δz (mm)
i	0.000	0.00000	1.06831	-32.47294
j	1.000	0.00000	0.00000	-33.00709
MAX	0.000	0.00000	1.06831	-32.47294
MIN	1.000	0.00000	0.00000	-33.00709

図3-18 FRAMEマネージャ 解析結果(変位/水平荷重)

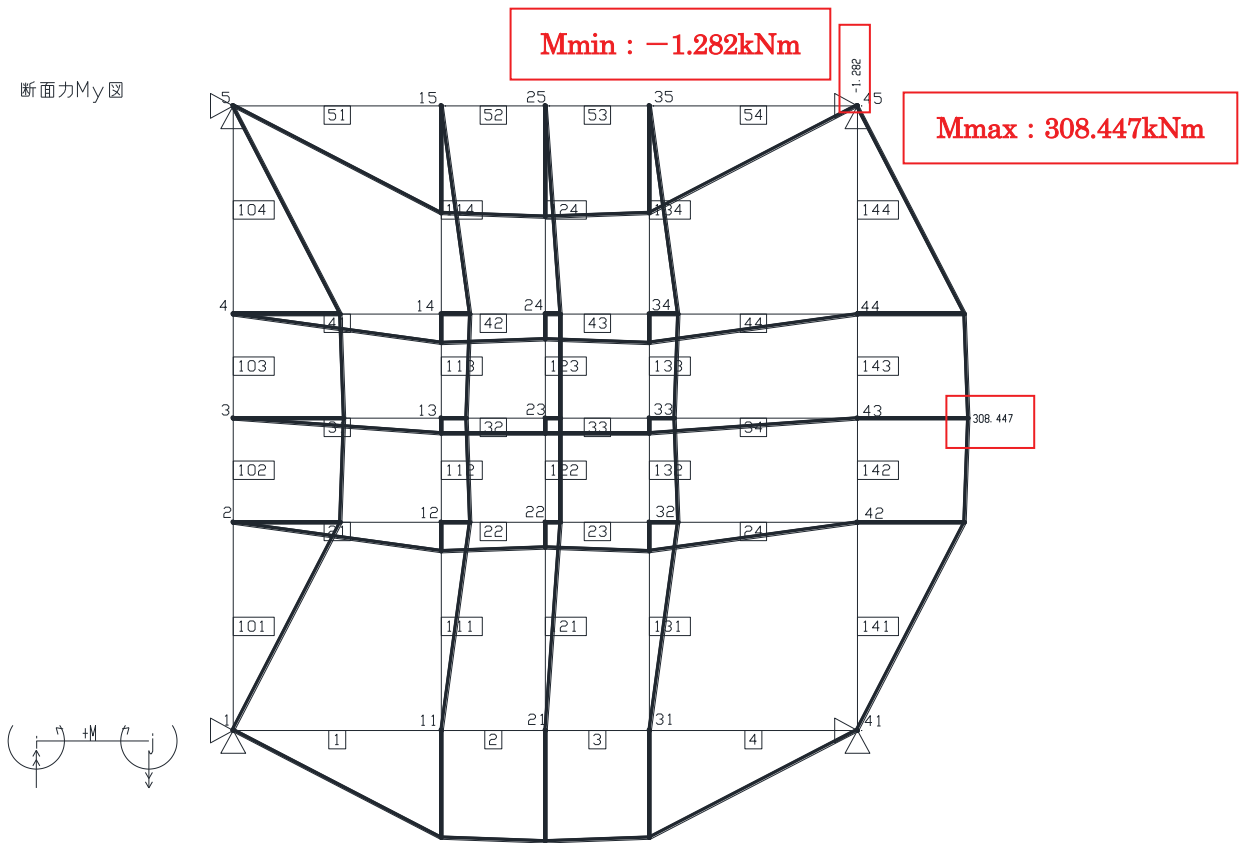


図3-19 FRAMEマネージャ 解析結果(曲げモーメント/水平荷重)

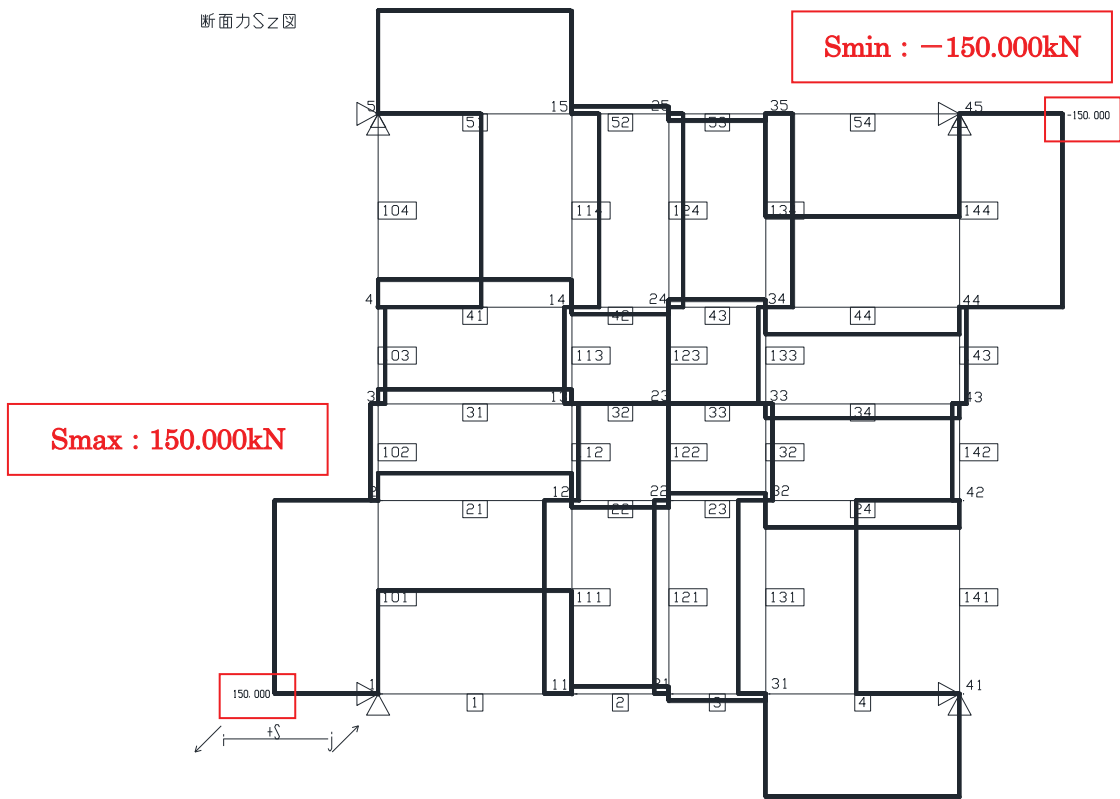
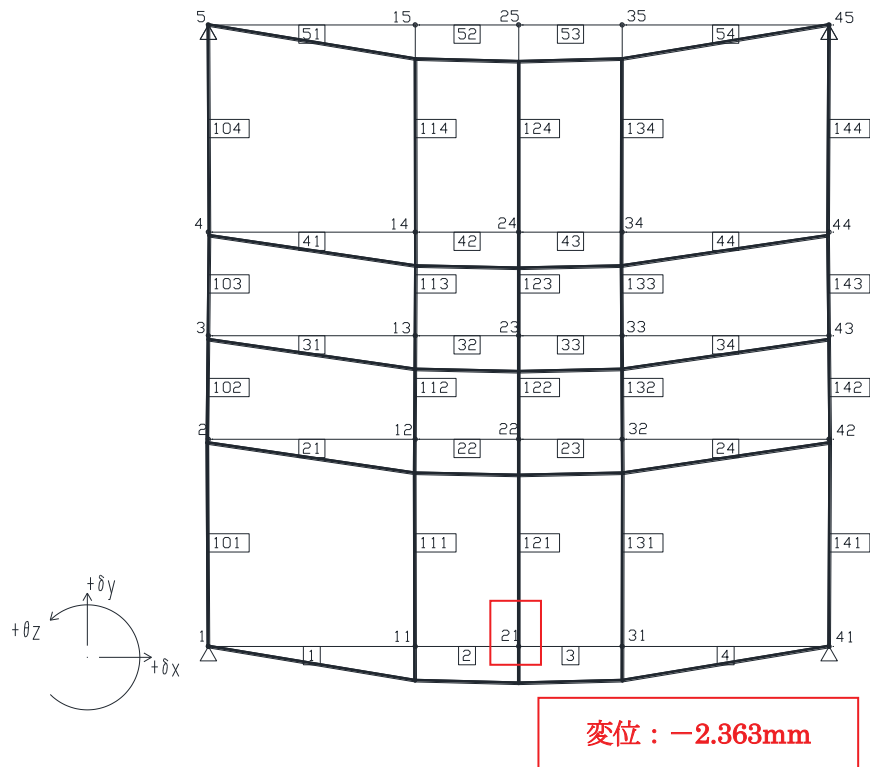


図3-20 FRAMEマネージャ 解析結果(せん断力/水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷時



部材番号 2 (11 - 21)

着目点	距離 (m)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	回轉變位 θz (mrad)
i	0.000	-0.01380	-2.19236	-0.42501
j	1.000	0.00000	-2.36275	0.00000
MAX	0.000	-0.01380	-2.19236	-0.42501
MIN	1.000	0.00000	-2.36275	0.00000

図3-21 FRAMEマネージャ 解析結果(変位/鉛直荷重)

断面力Mz図

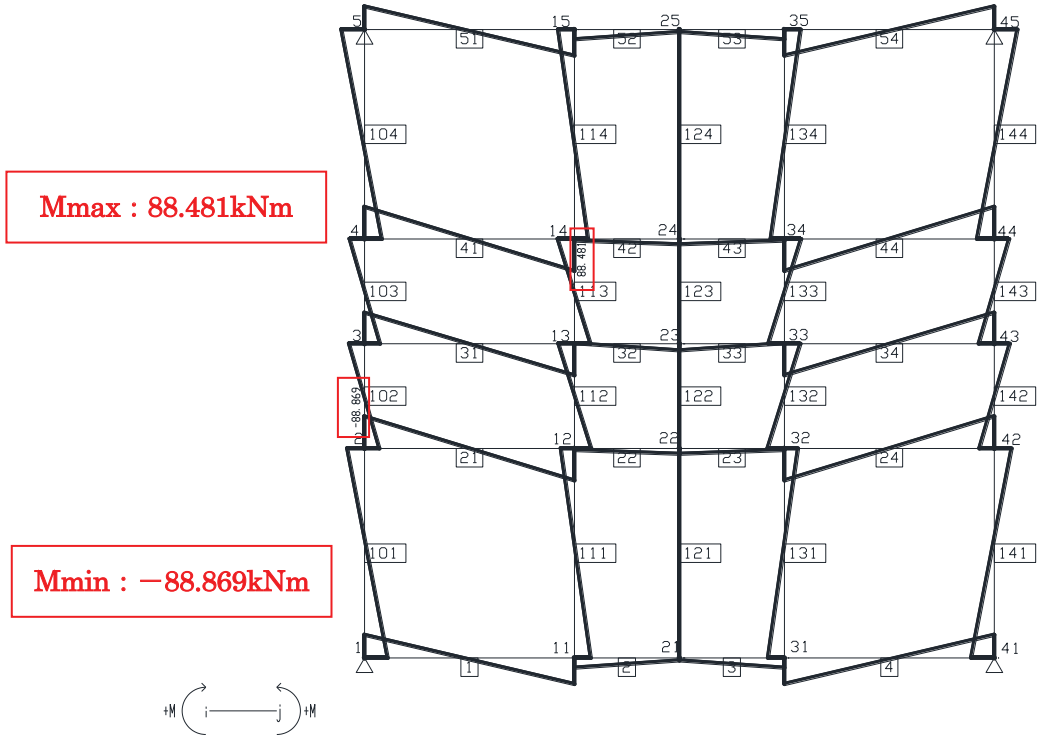


図3-22 FRAMEマネージャ 解析結果(曲げモーメント/鉛直荷重)

断面力Sy図

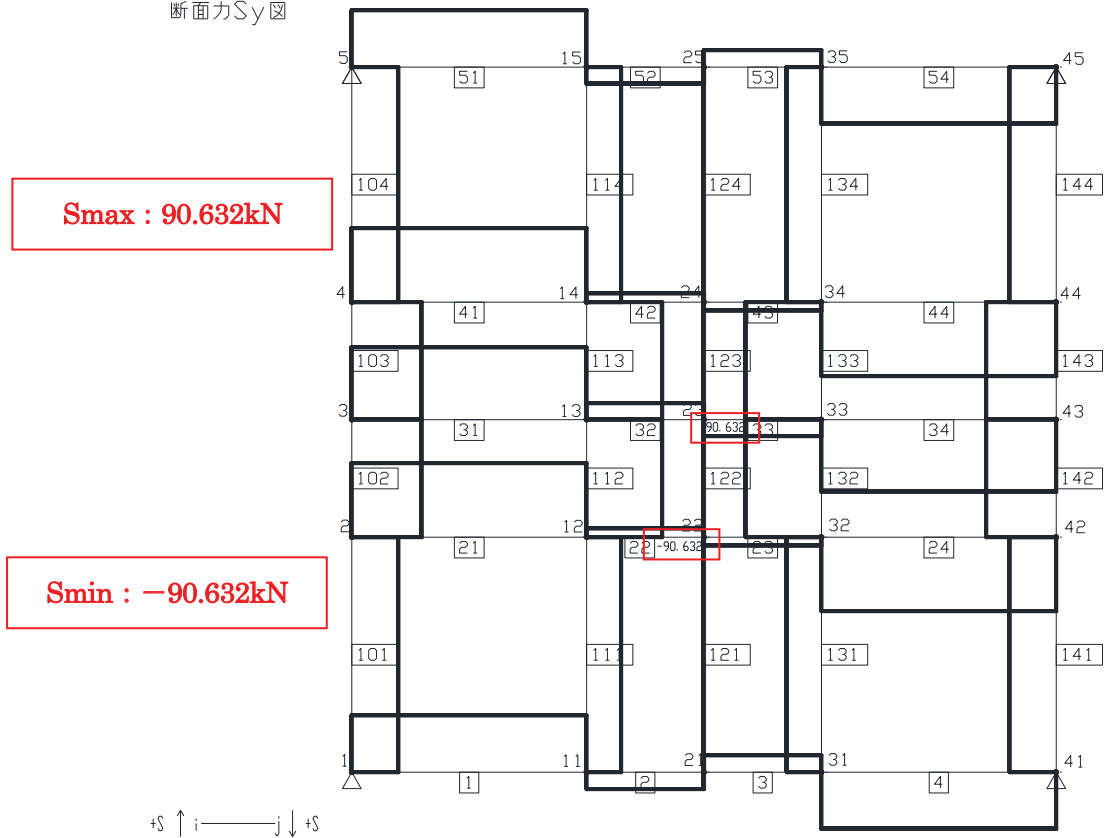


図3-23 FRAMEマネージャ 解析結果(せん断力/鉛直荷重)

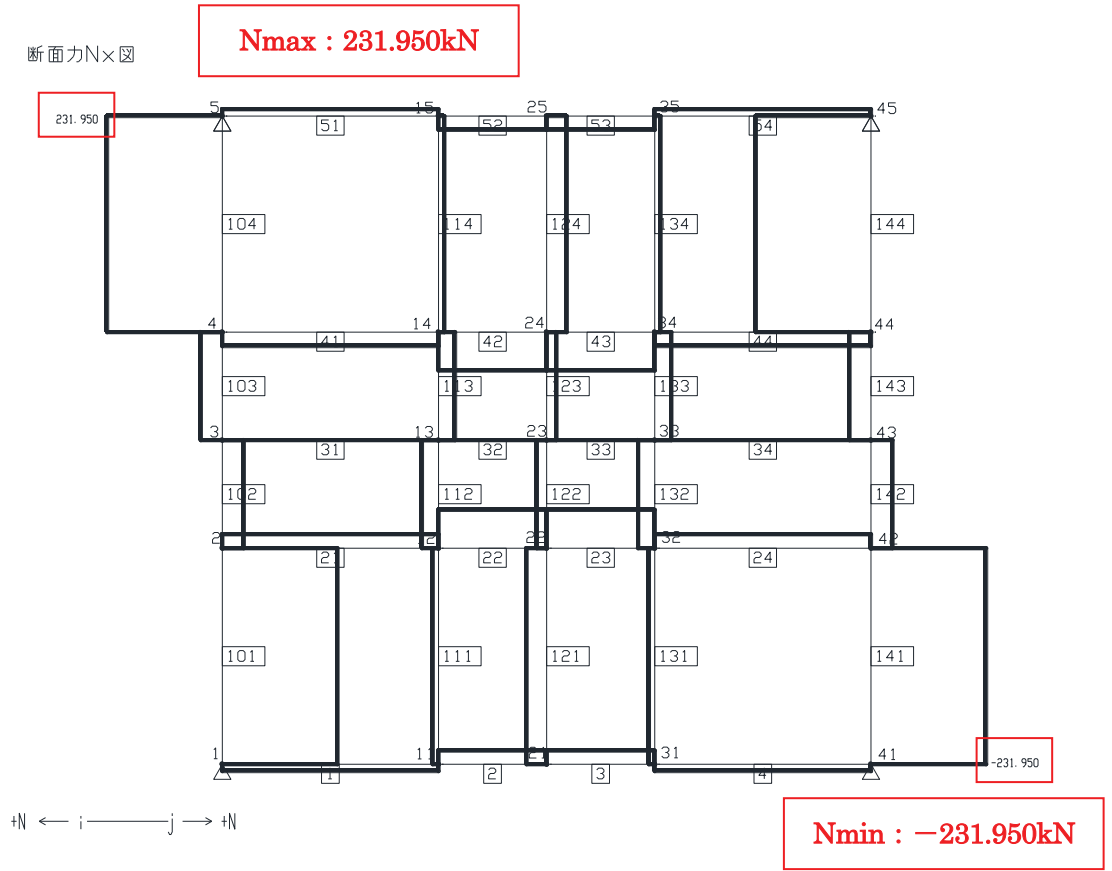


図3-24 FRAMEマネージャ 解析結果(軸力/鉛直荷重)

表3-5 TDAPⅢとFRAMEマネージャの解析結果の比較

		TDAPⅢ	FRAMEマネージャ	比率	
水平荷重	δ (mm)	-33.007	-33.007	100%	
	M (kNm)	Max	308.450	308.447	99.999%
		Min	-1.282	-1.282	100%
	S (kN)	Max	150.000	150.000	100%
		Min	-150.000	-150.000	100%
鉛直荷重	δ (mm)	-2.363	-2.363	100%	
	M (kNm)	Max	88.481	88.481	100%
		Min	-88.869	-88.869	100%
	S (kN)	Max	90.632	90.632	100%
		Min	-90.632	-90.632	100%
	N (kN)	Max	231.950	231.950	100%
		Min	-231.950	-231.950	100%

TDAPⅢとFRAMEマネージャの解析結果が良く一致していることを確認しており、断面力及び変位の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(3) 使用内容に対する妥当性

杭基礎構造防潮壁（鋼製扉）の設計に本解析コードによって算出した断面力及び変位を使用することは、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。

- ・検証内容のとおり、構造力学公式集によって算出した断面力及び変位との比較検証、TDAPⅢによって算出した断面力及び変位との比較検証を行っていることから、解析の目的に照らして使用することは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0068_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-61 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FRAME（面内）

2021年9月

東北電力株式会社

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
VI-2-10-2-8-3	浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書	Ver. 5.0.7
VI-2-13-2	地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書	Ver. 5.0.7

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	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, Ver. 5.0.7
コードの概要	<p>FRAME (面内) (以下「本解析コード」という。)は、株式会社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>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学分野における一般的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。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、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。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、常設低圧代替注水系ポンプ室及び代替淡水貯槽の平面骨組解析 (断面力算出) に本解析コード (ver. 5.0.4) が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち ver. 5.0.7 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。 ・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、本工事計画で使用する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。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	・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。
---	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0069_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-62 計算機プログラム（解析コード）の概要
・Engineer's Studio

2021年2月

東北電力株式会社

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）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
VI-2-10-2-8-4	浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の耐震性についての計算書	Ver. 6. 00. 04
VI-3-別添 3-2-7-2	浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の強度計算書	Ver. 6. 00. 04

2. 解析コードの概要

項目	コード名 Engineer's Studio
使用目的	3次元骨組構造解析
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 (以下「本解析コード」という。)は、3次元骨組構造解析を行う解析コードである。主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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及び固有値解析を行い、断面力及び変位並びに固有周期の算出を行う。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる単純はり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。 ・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。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、海水ポンプ室エリア防護対象施設の固有値解析、応力解析に本解析コード(Ver. 6.00.04)が使用された実績がある。 ・本工事計画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。 ・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。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0070_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-63 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ fappase

2021年9月

東北電力株式会社

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）fappase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
VI-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書	ver. 1. 63
VI-2-11-2-7	中央制御室天井照明の耐震性についての計算書	ver. 1. 63

2. 解析コードの概要

項目	コード名 fappase
使用目的	地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2002 年
使用したバージョン	ver. 1. 61, ver. 1. 62, ver. 1. 63
コードの概要	<p>fappase (以下「本解析コード」という。)は、超高層建物の非線形地震応答解析用として開発された有限要素を含む汎用解析コードである。</p> <p>材料非線形モデルを数多くサポートしており超高層建物や免震建物の非線形地震応答解析に使用実績がある。</p> <p>固有値解析、動的解析及び静的解析による応力等の算定が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</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"> ・各部別内部粘性型減衰を用いた地震応答解析を別途検証済解析コード NUPP4 による等価なダッシュポットを用いた解析と比較し、同一の解析結果が得られることを確認している。 ・既往文献*に示される 1 層 1 スパン X 型ブレース (筋違) 架構の載荷実験のシミュレーション解析を、本解析コードを用いて同様に実施し、既往文献*におけるシミュレーション解析とおおむね一致することを確認している。 ・免震構造に用いられる鉛入り積層ゴムの MSS (Multiple Shear Spring) モデルのせん断力-変位関係と一方向ばね要素のせん断力-変位関係を本解析コードにより解析し、同様の関係が得られることを確認している。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.63 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.61 及び Ver. 1.62 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。
--	---

注記*：谷口ほか 鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究 日本建築学会構造工学論文集
37B 号 1991 年 3 月

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0071_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-64 計算機プログラム（解析コード）の概要

・KANSAS2

2021年9月

東北電力株式会社

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）KANSAS2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
VI-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書	Ver. 6.01
VI-2-10-2-3-4	防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）の耐震性についての計算書	Ver. 6.01
VI-2-11-2-7	中央制御室天井照明の耐震性についての計算書	Ver. 6.01
VI-3-別添 3-2-2-4	防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）の強度計算書	Ver. 6.01

2. 解析コードの概要

項目	コード名 KANSAS2
使用目的	応力解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2004 年
使用したバージョン	Ver. 6. 01
コードの概要	<p>KANSAS2（以下「本解析コード」という。）は、鹿島建設株式会社により開発された 3 次元応力解析（FEM 要素含む。）の解析計算機コードである。</p> <p>本解析コードは、微小変位理論による変位法を用いて、3 次元骨組（FEM 要素含む。）の断面力・変位を算出するための構造解析プログラムである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、一般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。 ・はり要素を用いた応力解析について、本解析コードによる解析結果と文献*による一般構造力学による理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンは、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。

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

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0072_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-65 計算機プログラム（解析コード）の概要
・MSAP（配管）

2021年9月

東北電力株式会社

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）MSAP（配管）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
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	<input type="text"/>
VI-2-5-7-2-5	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	<input type="text"/>
VI-2-13-7	地下水位低下設備配管の耐震性についての計算書	<input type="text"/>
VI-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B, C クラスの機器についての計算書	<input type="text"/>
VI-3-3-3-6-1-6-2	管の応力計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	<input type="text"/>
VI-3-3-3-6-2-5-2	管の応力計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	<input type="text"/>

2. 解析コードの概要

項目	コード名 MSAP (配管)
使用目的	3次元有限要素法 (はりモデル) による固有値解析, 静的解析及び動的解析
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	[REDACTED]
使用したバージョン	[REDACTED]
コードの概要	<p>強度及び耐震計算で使用している解析コード MSAP (配管) (以下「本解析コード」という。) は [REDACTED]</p> <p>[REDACTED]</p> <p>対話方式による入力及び構造解析の出力データを基に規格基準の算出式に従った評価が可能である。</p> <p>[REDACTED]</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <p>[REDACTED] 開発元より発行されている例題集の中で、モデル要素ごとに静的及び動的解析の例題に対して、解析結果と理論モデルによる理論解又は他の解析コードでの計算結果と一致していることを確認している。また、サンプルモデルに対する固有値解析結果が、理論計算と一致することを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・対話方式により入力されたデータはインプットファイルとして出力され、入力データと一致していることを確認している。 ・入力データが正しく構造解析に受け渡されていること、構造解析データが正しく規格計算に受け渡されていることをそれぞれ確認している。 ・構造解析結果として出力されたデータを規格基準に従い、発生応力、疲労累積係数を算出しており、その過程が理論解を再現できることを確認している。 ・地震動の組合せ処理は、本解析コード内で処理しており、アウトプットファイルと理論計算結果が一致していることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの適用制限として使用節点数・要素数があるが、適用範囲内であることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ J E A G 4 6 0 1-1987 6.5.2 項の加圧水型原子力発電設備における 1 次冷却ループの多質点 3 次元はりモデルによる解析の妥当性確認として、 <div style="border: 2px solid black; height: 150px; width: 100%; margin: 10px 0;"></div> <ul style="list-style-type: none"> ・ 上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備における 1 次冷却ループの 3 次元はりモデルであるが、1 次冷却ループに含まれる 1 次冷却材管は今回解析する配管と幾何学的に類似しており、同様の 3 次元はりモデルを用いてモデル化している。 ・ 本工事計画で行う 3 次元有限要素法 (はり要素) による固有値解析、地震応答解析、構造解析、応力算出の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。
--	---

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0073_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-66 計算機プログラム（解析コード）の概要
・STRUCT

2021年2月

東北電力株式会社

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）STRUCT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
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	Version 2.86

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	STRUCT
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による応力解析
開発機関	三和テッキ株式会社
開発時期	1982年
使用したバージョン	Version 2.86
コードの概要	<p>STRUCT（以下「本解析コード」という。）は、骨組構造の静解析及び動解析を、はり理論を用いて行う計算機プログラムである。</p> <p>架構等の骨組構造に対し、集中荷重、分布荷重、静的震度等による反力、モーメント、応力や固有値の算出が可能である。</p> <p>原子力発電所、火力発電所、化学プラント等での使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードと材料力学分野の一般的知見により解を求めることができる体系に対し、静解析の結果がよく一致することを確認している。 ・本解析コードと既工事計画において使用実績のある応力解析コード MSC NASTRAN を比較対象として、本工事計画において対象とする構造物の形状の構成要素である片持ちばり、門型はり、斜材付支柱はりの応力解析を検証問題とする解析を行い、本解析コードによる数値解が MSC NASTRAN による数値解とよく一致することを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力産業界において、配管支持構造物等の評価に十分な使用実績があり、妥当性は十分に確認されている。 ・検証結果より、本工事計画で行う応力解析の使用目的に照らして、妥当であることを確認している。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0074_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-67 計算機プログラム（解析コード）の概要

・NAPF

2021年9月

東北電力株式会社

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）NAPF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
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	NAPFS-2019-A-02
VI-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B, C クラスの機器についての計算書	NAPFS-2019-A-02
VI-2-別添 2-7	タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書	NAPFS-2019-A-02

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NAPF
使用目的	配管支持構造物の強度評価 3次元有限要素法（はりモデル）による固有値解析及び応力解析
開発機関	日本発条株式会社
開発時期	1980年
使用したバージョン	NAPFS-2019-A-02
コードの概要	<p>NAPF（以下「本解析コード」という。）は、骨組構造の静的構造解析を行うことを目的として、配管系等の支持構造物の設計用に開発された計算機プログラムである。</p> <p>任意の1次元、2次元あるいは3次元形状に対し、静的解析を行うことが可能で、反力・モーメント・応力、固有値等の算出が可能である。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学の数式を用いた理論解と本解析コードによる解析解を比較した。なお、モデルは材料力学上の計算結果と容易に比較可能なものとして片持ちはりに自重による分布荷重が作用するものとした。この結果、本解析コードの結果が良好に一致していることを確認している。 ・他の解析コード（MSC NASTRAN）の解析結果と本解析コードの解析結果を比較し、良好に一致していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力の分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・検証の内容により、本工事計画で行う固有値解析及び応力解析の使用目的に照らして本解析コードを使用することが妥当であることを確認している。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0075_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-68 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FRS Calculation System

2021年2月

東北電力株式会社

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）FRS Calculation System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
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	2.0.0, 2.0.1
VI-2-別添 3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における 入力地震動	2.0.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FRS Calculation System
使用目的	設計用床応答曲線作成
開発機関	株式会社原子力エンジニアリング
開発時期	2013 年
使用したバージョン	2.0.0, 2.0.1
コードの概要	<p>FRS Calculation System (以下「本解析コード」という。)は、耐震設計に使用する設計用床応答曲線を作成することを目的としており、加速度時刻歴応答から応答スペクトルを計算する機能、応答スペクトルの拡幅を行う機能を有する。</p> <p>本解析コードは、床応答曲線を作成するために開発したハウスコードである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードで作成した応答スペクトルと、既工事計画において使用実績があり同等の機能を有する別解析コード VIANA による応答スペクトルを比較し、一致していることを確認している。 ・拡幅機能については、±10%拡幅した算出値と、本解析コードによる解析解を比較し、一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で使用する解析機能は、理論モデルをそのままコード化したものであり、妥当性は確認されている。 ・設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は、妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。 ・±10%拡幅、時刻歴波の時間刻み、固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1-1987 に従っており、妥当性は確認されている。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 本解析コードのバージョン1.2.2は、他プラントの既工事計画の設計用床応答曲線作成において使用実績がある。本工事計画において使用するバージョン2.0.0及び2.0.1への変更においては、解析結果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。• 設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は、妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。
--	---

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0076_改0
提出年月日	2021年2月2日

VI-5-69 計算機プログラム（解析コード）の概要
・LS-DYNA

2021年2月

東北電力株式会社

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）LS-DYNA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
VI-3-別添 1-1-1	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書	Ver. 971 R8. 0. 0
VI-3-別添 1-1-5	復水貯蔵タンクの強度計算書	Ver. 971 R6. 0. 0
VI-3-別添 1-1-7	排気筒の強度計算書	Ver. 971 R6. 0. 0
VI-3-別添 1-2-1-1	竜巻防護ネットの強度計算書	Ver. 971 R8. 0. 0
VI-3-別添 1-2-1-2	竜巻防護鋼板の強度計算書	Ver. 971 R8. 0. 0

2. 解析コードの概要

コード名	LS-DYNA
項目	
使用目的	3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）
開発機関	Livermore Software Technology Corporation
開発時期	1987年
使用したバージョン	Ver. 971 R6.0.0, Ver. 971 R8.0.0
コードの概要	<p>LS-DYNA（以下「本解析コード」という。）は、Lawrence Livermore 研究所により開発・公開された陽解法有限要素法 DYN3D を基に開発された構造解析用の汎用市販コードである。</p> <p>機械・土木建築その他広範な分野に及ぶ要素群、非線形モデルを多数サポートしており、国内外の宇宙航空、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野において多くの利用実績があり、陽的時間積分を用いていることから、衝突問題等、短時間の動的現象のシミュレーションに適している。また、大変形の非線形問題への適用が容易である点に特徴がある。</p> <p>衝突問題や動的荷重を受ける構造物の応力、ひずみや加速度応答等を算出する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発機関マニュアルにおいて提示している3次元有限要素法による衝突解析に関する例題解析を実施し、解析結果がマニュアルに記載された結果と一致することを確認している。 ・Norwegian University of Science and Technologyにより、薄板鋼管の軸方向圧縮破壊試験のシミュレーション解析が行われており、解析結果と実験結果がおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、国内外の宇宙航空、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本解析コードの適正な用途、適用範囲を確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で行う3次元有限要素法（はり要素，シェル要素，ソリッド要素）による動的解析（衝突解析）の用途，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。 ・本工事計画において使用する Ver. 971 R6.0.0 は，他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画において使用する Ver. 971 R8.0.0 は，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画における構造に対し使用する要素，3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）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。
--	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0077_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-70 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ ADMIT

2021年2月

東北電力株式会社

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）ADMIT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
VI-2-11-2-15	第1号機排気筒の耐震性についての計算書	導入時 Ver.

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ADMIT
使用目的	地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1984 年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	<p>ADMIT (以下「本解析コード」という。) は、基礎底面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。振動アドミタンス理論に基づき、地盤を半無限等方均質弾性体として、基礎底面における水平方向、鉛直方向及び回転方向の地盤ばねが求められる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本建築学会の文献に記載されている計算例と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、水平方向、鉛直方向及び回転方向の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本工事計画に適用することは妥当である。 ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機においてコントロール建屋の底面地盤ばねの算定において使用された実績がある。 ・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。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0078_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-71 計算機プログラム（解析コード）の概要
・VIANA

2021年2月

東北電力株式会社

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）VIANA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
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	1.0

2. 解析コードの概要

項目	コード名 VIANA
使用目的	設計用床応答曲線作成
開発機関	株式会社東芝
開発時期	1983 年
使用したバージョン	1.0
コードの概要	<p>VIANA（以下「本解析コード」という。）は、加速度時刻歴から応答スペクトルを作成するプログラムであり、建物・構築物床応答時刻歴から設計用床応答曲線を作成することを目的とする。</p> <p>一定の固有周期及び減衰定数を有する 1 質点系の与えられた加速度時刻歴に対する最大応答加速度を計算し、周期と減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答曲線の包絡値を求め、また床応答曲線の拡幅を行う。</p> <p>本解析コードは、設計用床応答曲線を作成するために開発したハウスコードである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・理論解と本解析コードで作成した応答スペクトルを比較し、一致していることを確認している。 ・拡幅機能については、±10%拡幅した算出値と、本解析コードで作成した算出値を比較し、一致していることを確認している。 ・包絡機能については、包絡した応答スペクトルの最大値と、本解析コードで作成した算出値を比較し、一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で使用する解析機能は、理論モデルをそのままコード化したものであり、妥当性は確認されている。 ・設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は、妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<ul style="list-style-type: none">・ ±10%拡幅, 時刻歴波の時間刻み, 固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1 - 1987 に従っており, 妥当性は確認されている。・ 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。
---	--

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0079_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-72 計算機プログラム（解析コード）の概要
・Fluent

2021年9月

東北電力株式会社

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 Fluent Ver. 14.5.7.....	3
2.2 Fluent Ver. 16.0.0.....	4
2.3 Fluent Ver. 19.1.....	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）Fluent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
VI-1-1-8-3	溢水評価条件の設定	Ver. 14.5.7
VI-1-1-8-4	溢水影響に関する評価	Ver. 16.0.0
VI-2-10-1-2-1-1	非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性 についての計算書	Ver. 19.1
VI-2-10-1-2-2-1	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発 電機の耐震性についての計算書	Ver. 19.1

2. 解析コードの概要

2.1 Fluent Ver. 14. 5. 7

項目 \ コード名	Fluent
使用目的	流体解析（プールのスロッシング）
開発機関	ANSYS Inc.（アメリカ）
開発時期	2012年（初版開発時期1983年）
使用したバージョン	Ver. 14. 5. 7
コードの概要	ANSYS Fluent（以下「本解析コード」という。）は、CFD解析の初心者からエキスパートまで、幅広い要求に応える使いやすさと多くの機能を備える。有限体積法をベースとした非構造格子に対応するソルバを搭載しており、化学反応、燃焼、混相流等が取り扱える。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは有限体積法を用いた汎用流体解析プログラムであり、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の流体解析に広く利用されていることを確認している。 ・矩形水槽を用いて正弦波加振によるスロッシング試験を実施し、溢水量と液面変動の試験結果と解析結果がよく一致することを確認している。 ・本解析コードの製品開発、テスト、メンテナンス、サポートの各プロセスは、United States Nuclear Regulatory Commission（アメリカ合衆国原子力規制委員会）の品質要件を満たしている。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、化学等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

2.2 Fluent Ver. 16.0.0

項目 \ コード名	Fluent
使用目的	流体解析（敷地溢水評価）
開発機関	ANSYS Inc.（アメリカ）
開発時期	2015年（初版開発時期 1983年）
使用したバージョン	Ver. 16.0.0
コードの概要	ANSYS Fluent（以下「本解析コード」という。）は、CFD解析の初心者からエキスパートまで、幅広い要求に応える使いやすさと多くの機能を備える。有限体積法をベースとした非構造格子に対応するソルバを搭載しており、化学反応、燃焼、混相流等が取り扱える。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは有限体積法を用いた汎用流体解析プログラムであり、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の流体解析に広く利用されていることを確認している。 ・2次元ダムブレイク問題の解析結果と他の数値解法による結果を比較し、よく一致することを確認している。 ・本解析コードの製品開発、テスト、メンテナンス、サポートの各プロセスは、United States Nuclear Regulatory Commission（アメリカ合衆国原子力規制委員会）の品質要件を満たしている。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、化学等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

2.3 Fluent Ver. 19.1

項目	コード名 Fluent
使用目的	流体解析（スロッシング）
開発機関	ANSYS Inc.（アメリカ）
開発時期	2018年（初版開発時期 1983年）
使用したバージョン	Ver. 19.1
コードの概要	ANSYS Fluent（以下「本解析コード」という。）は、CFD解析の初心者からエキスパートまで、幅広い要求に応える使いやすさと多くの機能を備える。有限体積法をベースとした非構造格子に対応するソルバを搭載しており、化学反応、燃焼、混相流等が取り扱える。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは有限体積法を用いた汎用流体解析プログラムであり、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の流体解析に広く利用されていることを確認している。 ・矩形水槽を用いて正弦波加振によるスロッシング試験を実施し、溢水量と液面変動の試験結果と解析結果がよく一致することを確認している。 ・本解析コードの製品開発、テスト、メンテナンス、サポートの各プロセスは、United States Nuclear Regulatory Commission（アメリカ合衆国原子力規制委員会）の品質要件を満たしている。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、化学等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0080_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-73 計算機プログラム（解析コード）の概要
・CHERRY

2021年9月

東北電力株式会社

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）CHERRY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
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	初版
VI-2-13-7	地下水位低下設備配管の耐震性についての計算書	初版

2. 解析コードの概要

項目	コード名 CHERRY
使用目的	設計用床応答曲線作成
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	1980年
使用したバージョン	初版
コードの概要	CHERRY（以下「本解析コード」という。）は、加速度応答スペクトル作成プログラムであり、建屋床応答時刻歴から設計用床応答曲線を作成するために使用する。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・公開文献（大崎順彦著「新・地震動のスペクトル解析入門」）による手法と本解析コードで作成したスペクトルを比較し、おおむね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で使用する解析機能は、理論モデルをそのまま解析コード化したものであり、理論モデルによる理論解と解析解を比較することで、妥当性を確認している。 ・拡幅機能については、±10%拡幅させた理論解と本解析コードによる算出値を比較して、妥当であることを確認している。 ・設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・±10%拡幅、時刻歴波の時間刻み、固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1 - 1987 に従っており、妥当性は確認されている。 ・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。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0081_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-5-74 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FACS

2021年9月

東北電力株式会社

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. 解析コード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
3.5.1 検証 (Verification)	7
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	12
3.5.3 評価結果.....	12

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）FACS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
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	1.0, 1.0.1, 1.0.5

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FACS
使用目的	設計用床応答曲線作成
開発機関	辰星技研株式会社
開発時期	2019 年
使用したバージョン	1.0, 1.0.1, 1.0.5
コードの概要	<p>FACS (以下「本解析コード」という。)は、加速度時刻歴から床応答曲線を作成するプログラムであり、建物・構築物の床応答時刻歴から設計用床応答曲線を作成することを目的とする。</p> <p>一定の固有周期及び減衰定数を有する 1 質点系の与えられた加速度時刻歴に対する最大応答加速度を計算し、減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答スペクトルの包絡値を求め、また床応答スペクトルの拡幅を行う。</p> <p>本解析コードは、設計用床応答曲線を作成するために開発したハウスコードである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・別解析コード「VIANA」により作成した設計用床応答曲線と本解析コードで作成した設計用床応答曲線を比較し、おおむね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で使用する解析機能は、理論モデルをそのままコード化したものであり、妥当性は確認されている。 ・±10%拡幅、時刻歴波の時間刻み及び固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1 -1987 に従っており、妥当性は確認されている。

3. 解析コードの解析手法について

3.1 一般事項

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

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

3.2 解析コードの特徴

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

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

3.3 解析手法

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_{n+1} &= \dot{x}_n + \Delta t \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t^2 \cdot \dddot{x}_n \\
 &= \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_{n+1}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

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

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

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

(3.7)において式を簡略化するため,

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

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

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

とおくと, (3.7)から(3.11)が得られる。

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

(3.8)を(3.5), (3.6)に代入すると, 時刻 t_n での加速度 \ddot{x}_n , 速度 \dot{x}_n 及び変位 x_n から1つ先の時刻 t_{n+1} での加速度 \ddot{x}_{n+1} , 速度 \dot{x}_{n+1} 及び変位 x_{n+1} を求めることができる。

ここで, 1つの減衰定数 h , 1つの計算固有周期点に対して, (3.5), (3.6), (3.11)により入力地震動 \ddot{y}_n の全継続時間にわたって応答加速度 \ddot{x}_n を算出し, $\ddot{x}_n + \ddot{y}_n$ の絶対値の最大値を求め, これを1つの減衰定数 h , 1つの計算固有周期点での加速度応答スペクトル算出値とする。

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

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

$$x_{t=0} = 0$$

$$\dot{x}_{t=0} = -\ddot{y}_{t=0} \cdot \Delta t$$

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

3.4 解析フローチャート

本解析コードを用いた解析フローチャートを図 3-1 に示す。

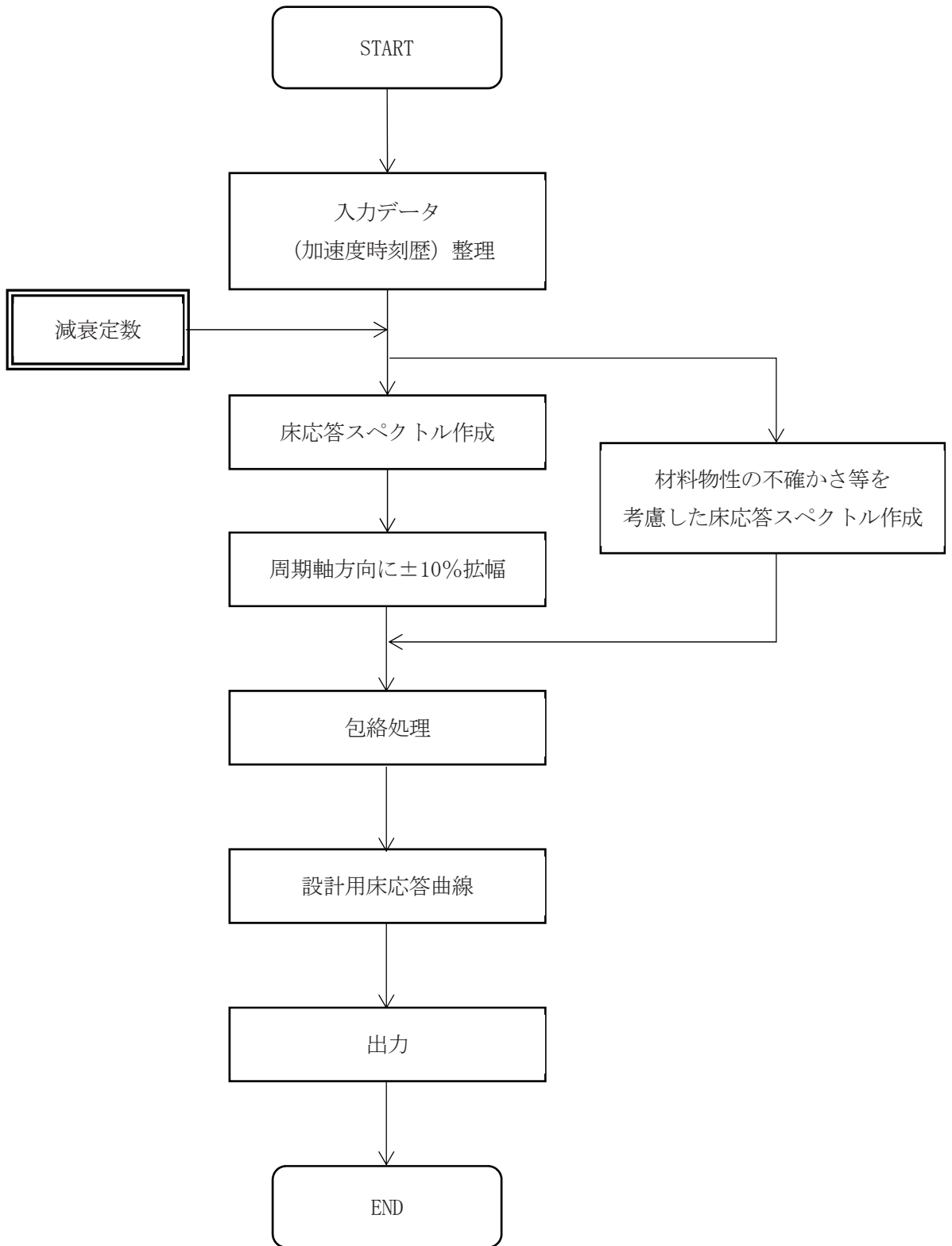


図 3-1 解析フローチャート

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

3.5.1 検証 (Verification)

(1) 検証の概要

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

表 3-1 検証における比較項目

検証対象	比較項目
設計用床応答曲線	応答加速度（震度）

(2) 検証条件

女川原子力発電所第 2 号機原子炉建屋の地震応答解析から得られた基準地震動 S_s に対する加速度時刻歴として、NS 方向モデルの O.P. 33.2m の質点 (1, 8, 13, 20, 25) 及び O.P. 15.0m の質点 (3, 10, 15, 22, 27) の S_s-D1 に対する応答を用いた。また、設計用床応答曲線を作成するための減衰定数は、機器・配管系の耐震計算に適用されるもののうち、0.5%、1.0% 及び 5.0% とした。図 3-2 に原子炉建屋の地震応答解析モデル (NS 方向) を示す。

$E_c = 1.99 \times 10^4$	N/mm ²
7.94×10^3	N/mm ² (燃料取替床上部)
2.52×10^4	N/mm ² (追設耐震壁)
$G_c = 8.53 \times 10^3$	N/mm ²
3.41×10^3	N/mm ² (燃料取替床上部)
1.05×10^4	N/mm ² (追設耐震壁)
$E_s = 2.05 \times 10^5$	N/mm ² (追設ブレース)
$G_s = 7.90 \times 10^4$	N/mm ² (追設ブレース)

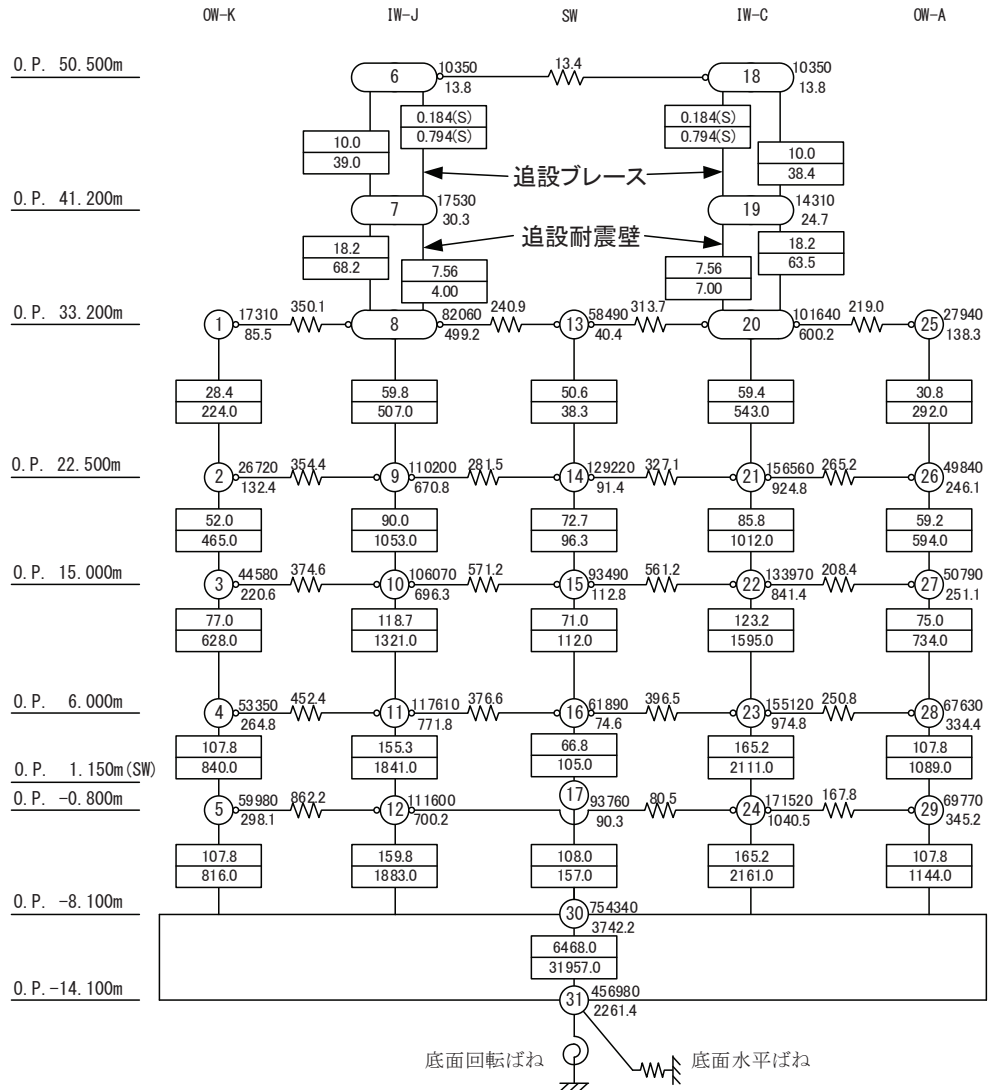
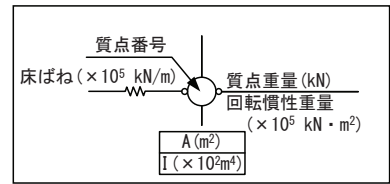


図 3-2 原子炉建屋地震応答解析モデル (NS 方向)

(3) 解析結果の比較

各検証条件で作成した設計用床応答曲線について、検証用データと本解析コードで作成したデータの比較結果を図 3-3～図 3-8 に示す。

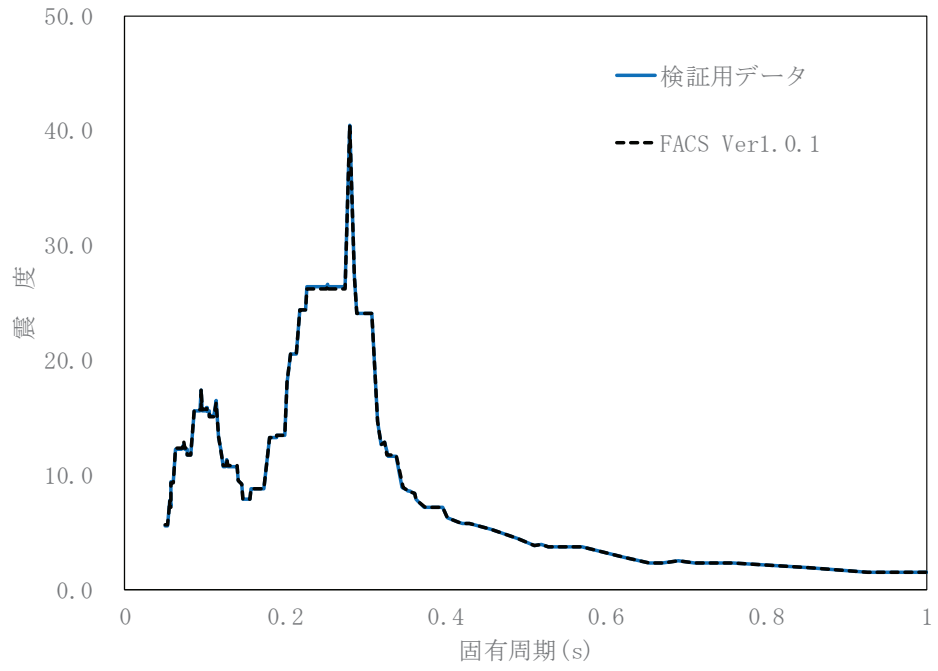


図 3-3 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 33.2m 減衰 0.5%)

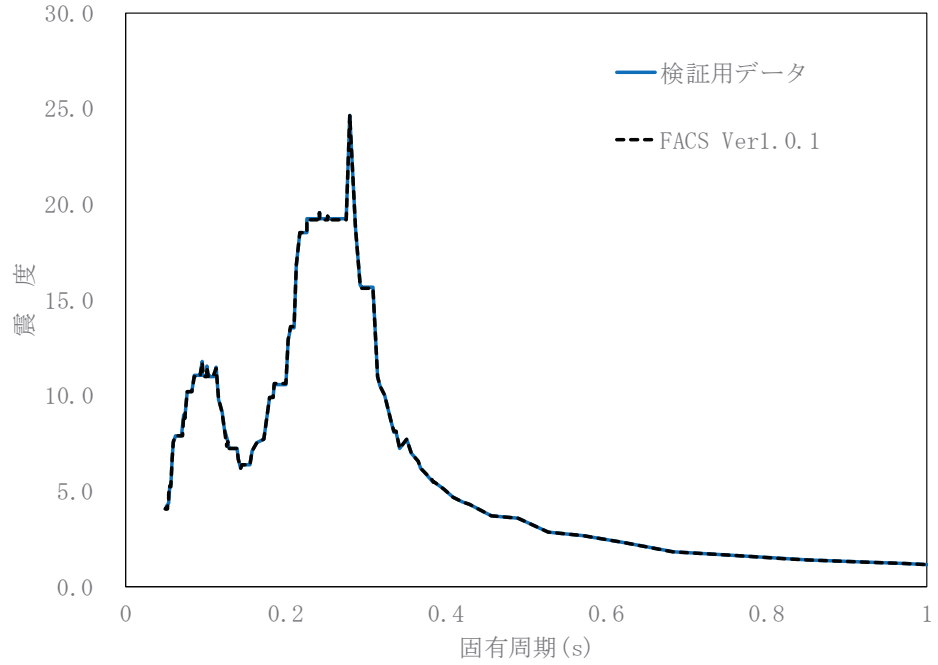


図 3-4 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 33.2m 減衰 1.0%)

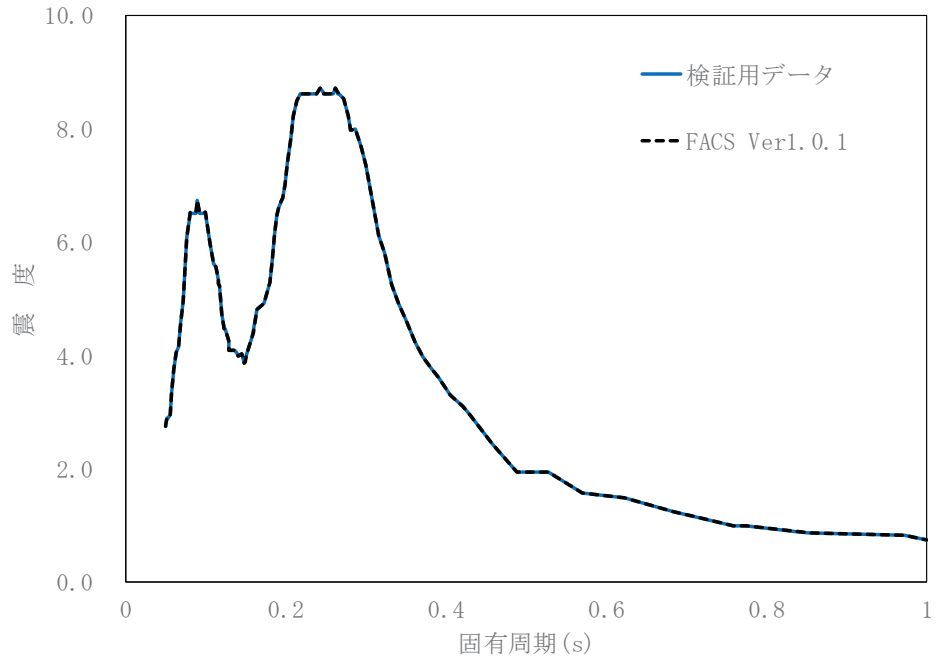


図 3-5 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 33.2m 減衰 5.0%)

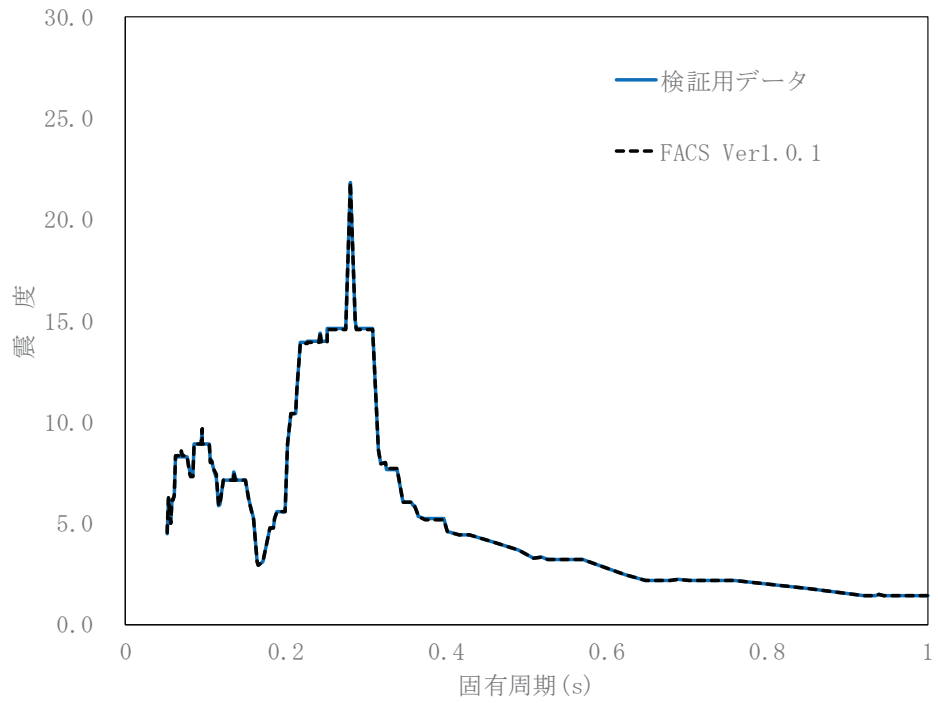


図 3-6 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 15.0m 減衰 0.5%)

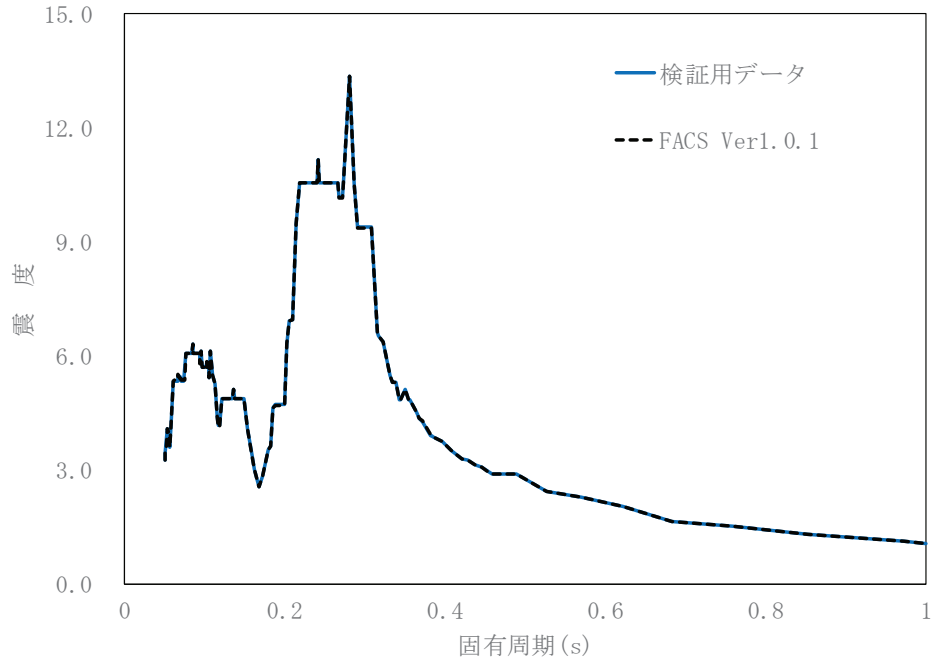


図 3-7 検証用データと本解析コードの比較結果 (O.P. 15.0m 減衰 1.0%)

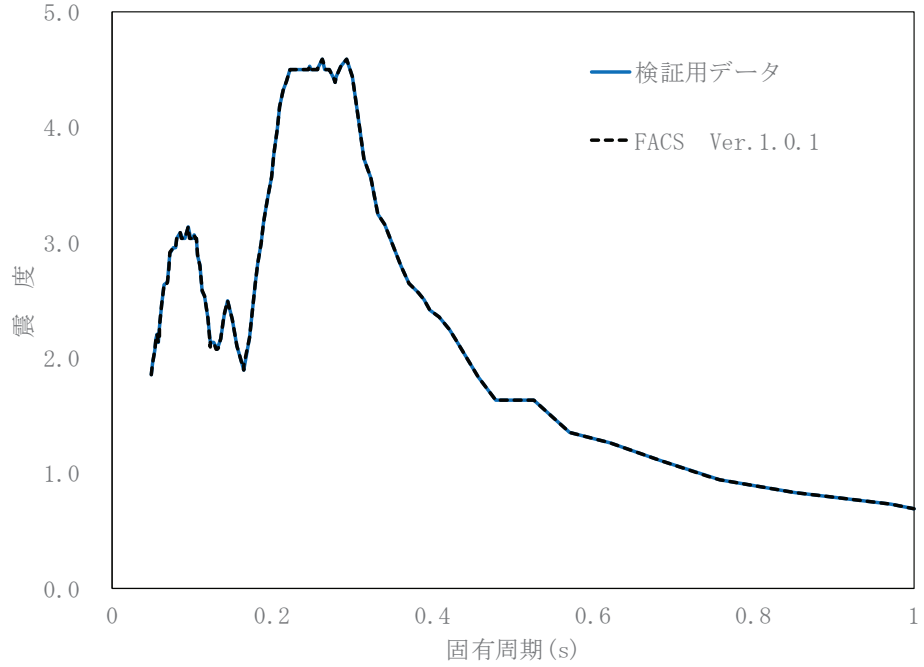


図 3-8 検証用データと本解析コードの比較結果 (O.P. 15.0m 減衰 5.0%)

(4) 検証結果

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

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。

- ・ 今回の工事計画で使用する機能は床応答スペクトルの作成機能，拡幅機能及び包絡機能であるため，同一の入力条件に対する 1 自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し，別解析コード「VIANA」と本解析コードの結果を比較することで妥当性を確認している。
- ・ 設計用床応答曲線を作成する際，入力とする時刻歴データの時間刻み幅，データの形式は，上述の妥当性を確認している範囲内での使用である。
- ・ ±10%拡幅，時刻歴波の時間刻み及び固有周期計算間隔は J E A G-4 6 0 1-1987 に従っており，妥当性は確認されている。

3.5.3 評価結果

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

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0082_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-75 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FRS Enveloping for BWR

2021年2月

東北電力株式会社

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.	解析コード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	5
3.5	検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	6
3.5.1	検証 (Verification)	6
3.5.2	妥当性確認 (Validation)	11
3.5.3	評価結果	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）FRS Enveloping for BWR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
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	1.0.1, 1.1

2. 解析コードの概要

コード名 項目	FRS Enveloping for BWR
使用目的	設計用床応答曲線作成
開発機関	株式会社原子力エンジニアリング
開発時期	2019 年
使用したバージョン	1.0.1, 1.1
コードの概要	<p>FRS Enveloping for BWR (以下「本解析コード」という。)は、耐震設計に使用する設計用床応答曲線を作成することを目的としており、減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答スペクトルの包絡値を求め、また床応答スペクトルの拡幅を行う。</p> <p>本解析コードは、設計用床応答曲線を作成するために開発したハウスコードである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・別解析コード「VIANA」により作成した設計用床応答曲線と本解析コードで作成した設計用床応答曲線を比較し、おおむね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・±10%拡幅は J E A G 4 6 0 1 -1987 に従っており、妥当性は確認されている。

3. 解析コードの解析手法について

3.1 一般事項

本書は、床応答スペクトルの拡幅・包絡処理を行う解析コードである FRS Enveloping for BWR の説明書である。

本解析コードは、減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答スペクトルの包絡値を求め、拡幅した床応答曲線の作成を行う。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの特徴を以下に示す。

- 複数の床応答スペクトルを包絡させた床応答スペクトル（以下「包絡スペクトル」という。）を作成する。
- 包絡スペクトルに対して、拡幅を行う。

3.3 解析手法

着目する床応答スペクトルの組合せについて、周期点ごとに応答加速度値を比較し、最大の値を当該周期点における包絡スペクトルの応答加速度値として採用する。また、周期点間で床応答スペクトルが交差する場合、交点の周期及び応答加速度を求め、包絡スペクトルに加える。

これを、全周期点、全床応答スペクトルを対象に実施するとともに、包絡スペクトルを周期軸方向に±10%拡幅する拡幅処理を行う。

その後、包絡スペクトルの拡幅結果と、材料物性の不確かさ等を考慮した床応答スペクトルとの包絡処理を実施することで、設計用床応答曲線を作成する。

3.4 解析フローチャート

本解析コードを用いた解析フローチャートを図 3-1 に示す。

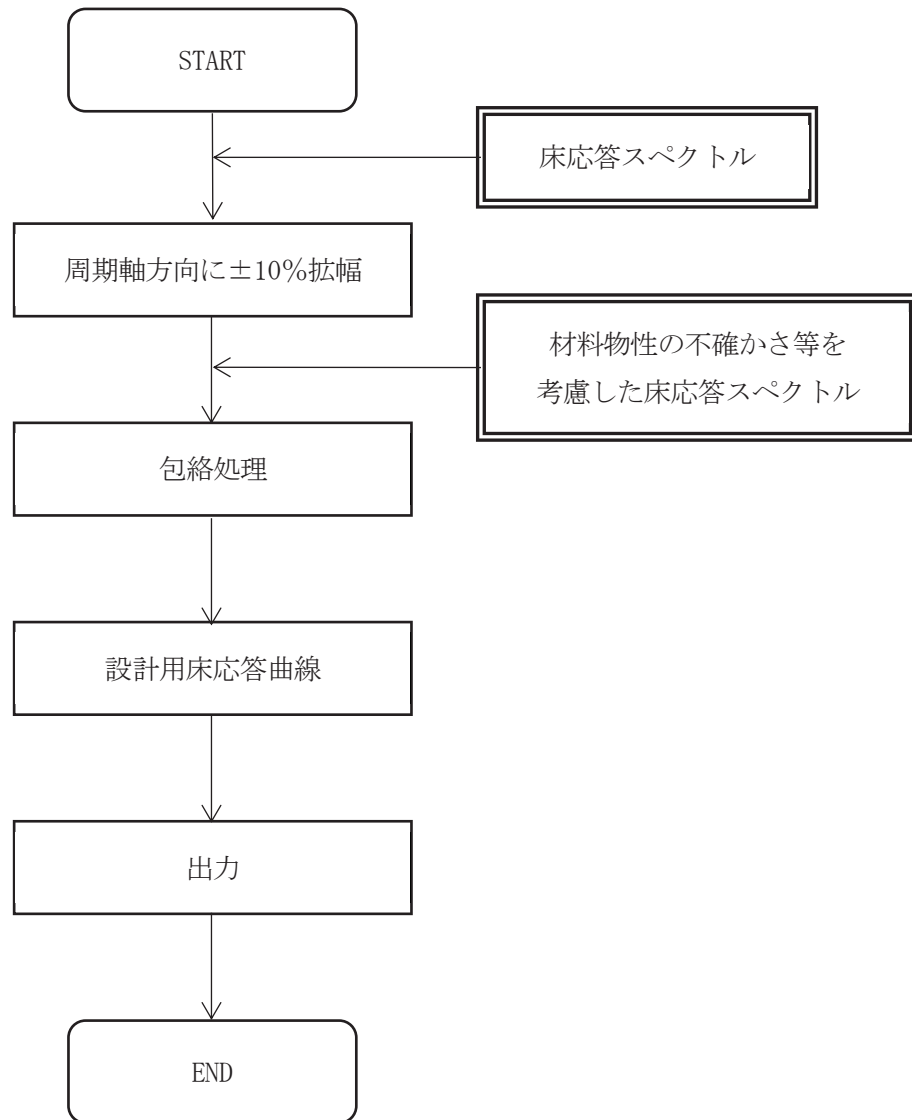


図 3-1 解析フローチャート

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

3.5.1 検証 (Verification)

(1) 検証の概要

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

表 3-1 検証における比較項目

検証対象	比較項目
設計用床応答曲線	応答加速度（震度）

(2) 検証条件

女川原子力発電所第 2 号機原子炉建屋の地震応答解析から得られた基準地震動 S_s に対する床応答スペクトルとして、NS 方向モデルの O.P. 33.2m の質点 (1, 8, 13, 20, 25) 及び O.P. 15.0m の質点 (3, 10, 15, 22, 27) の S_s-D1 に対する応答を用いた。また、設計用床応答曲線を作成するための減衰定数は、機器・配管系の耐震計算に適用されるもののうち、0.5%、1.0%及び5.0%とした。図 3-2 に原子炉建屋の地震応答解析モデル (NS 方向) を示す。

$E_c = 1.99 \times 10^4$ N/mm ²
7.94×10^3 N/mm ² (燃料取替床上部)
2.52×10^4 N/mm ² (追設耐震壁)
$G_c = 8.53 \times 10^3$ N/mm ²
3.41×10^3 N/mm ² (燃料取替床上部)
1.05×10^4 N/mm ² (追設耐震壁)
$E_s = 2.05 \times 10^5$ N/mm ² (追設ブレース)
$G_s = 7.90 \times 10^4$ N/mm ² (追設ブレース)

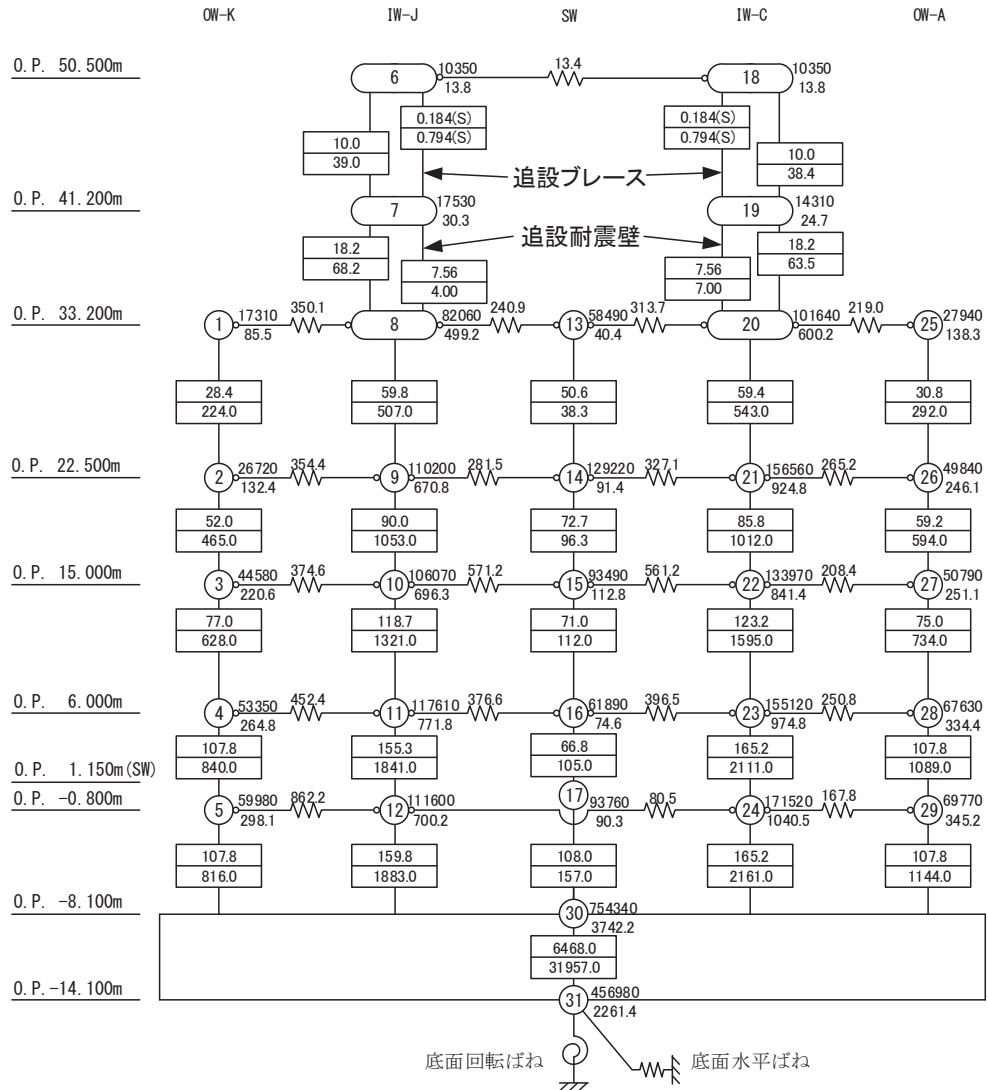
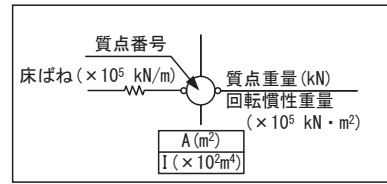


図 3-2 原子炉建屋地震応答解析モデル (NS 方向)

(3) 解析結果の比較

各検証条件で作成した設計用床応答曲線について、検証用データと本解析コードで作成したデータの比較結果を図 3-3～図 3-8 に示す。

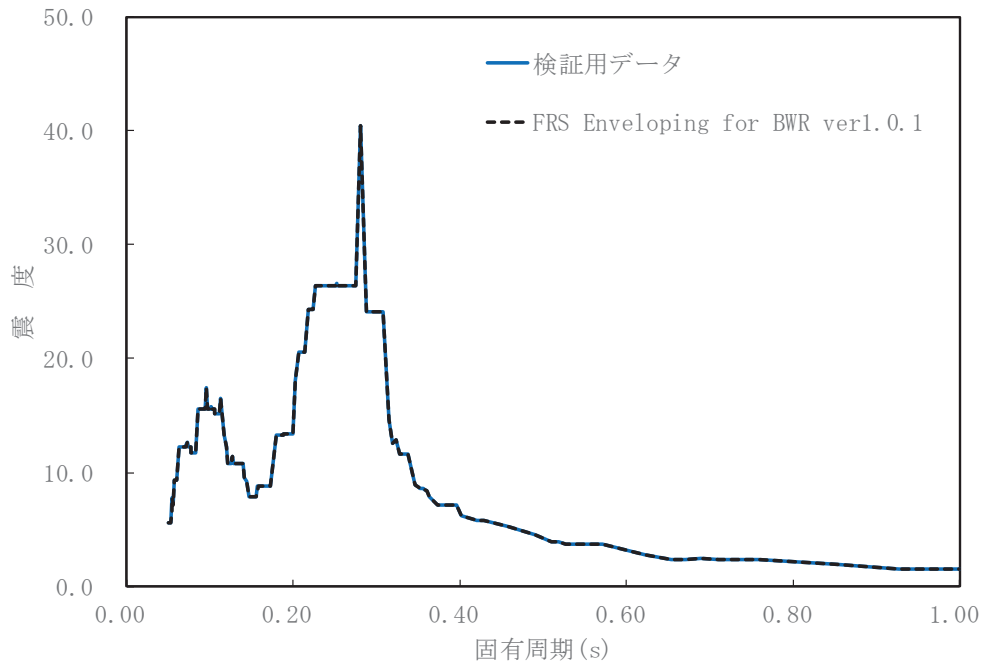


図 3-3 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 33.2m 減衰 0.5%)

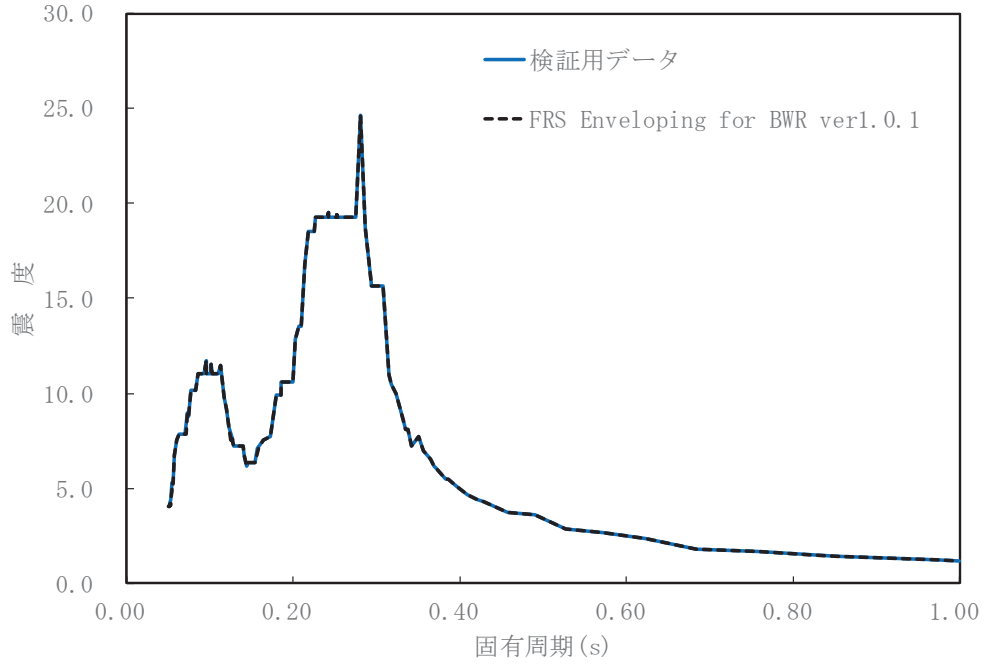


図 3-4 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 33.2m 減衰 1.0%)

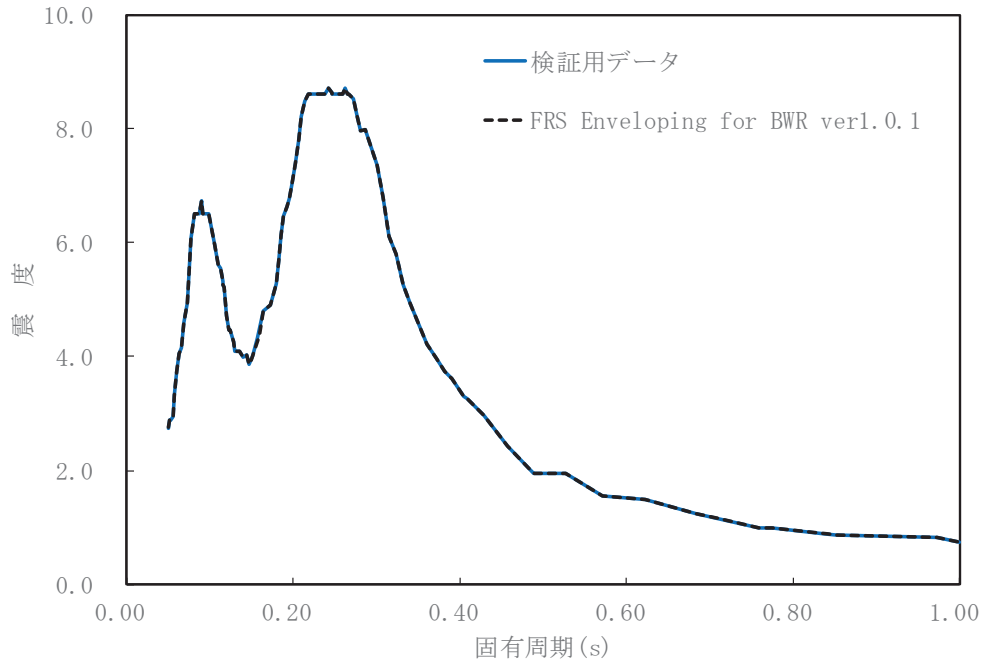


図 3-5 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 33.2m 減衰 5.0%)

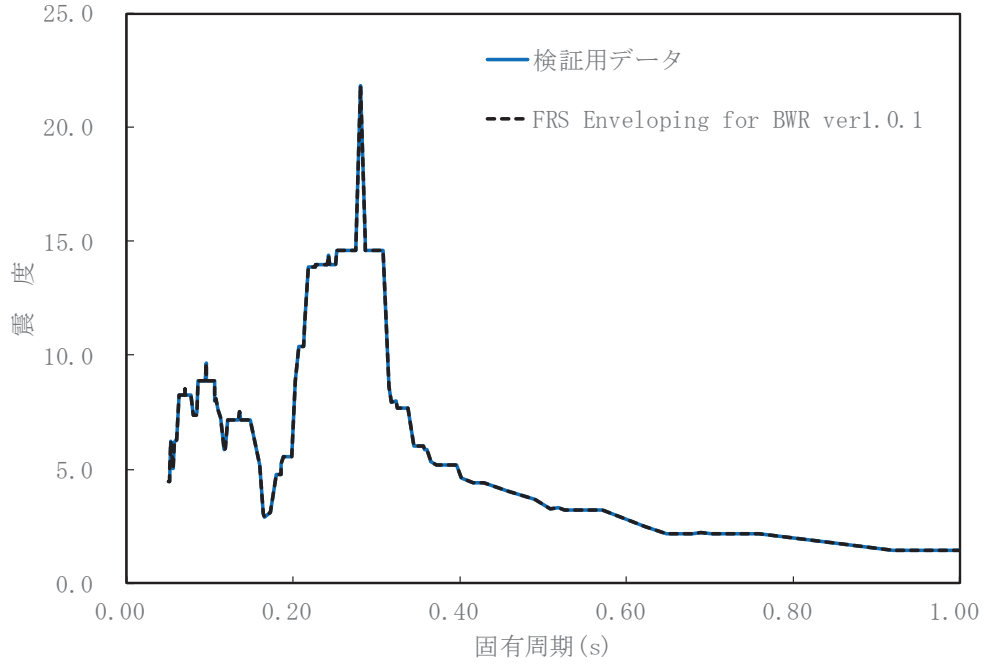


図 3-6 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 15.0m 減衰 0.5%)

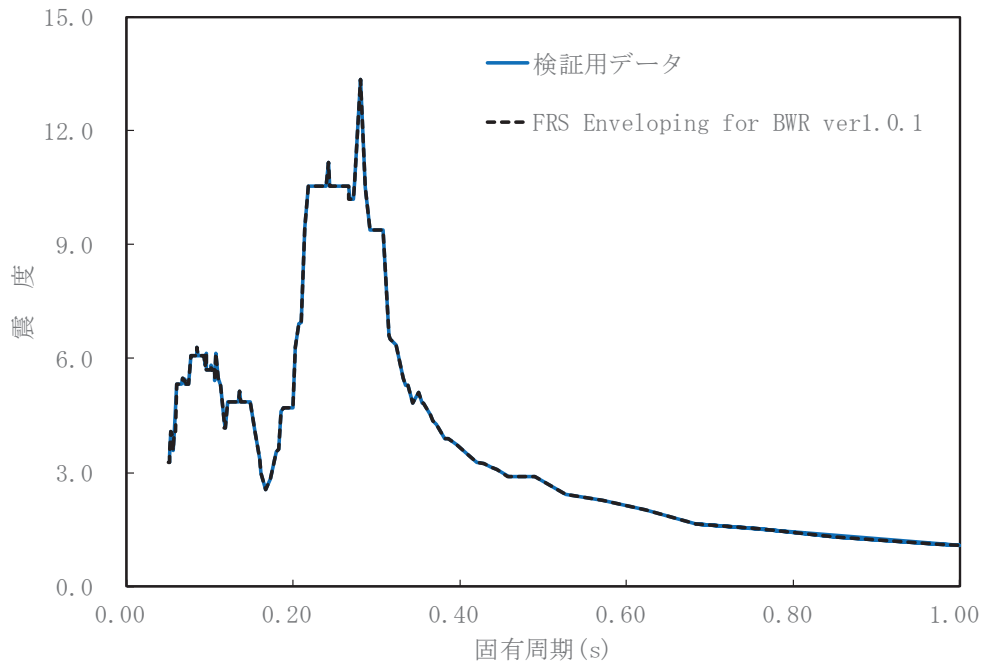


図 3-7 検証用データと本解析コードの比較結果 (O.P. 15.0m 減衰 1.0%)

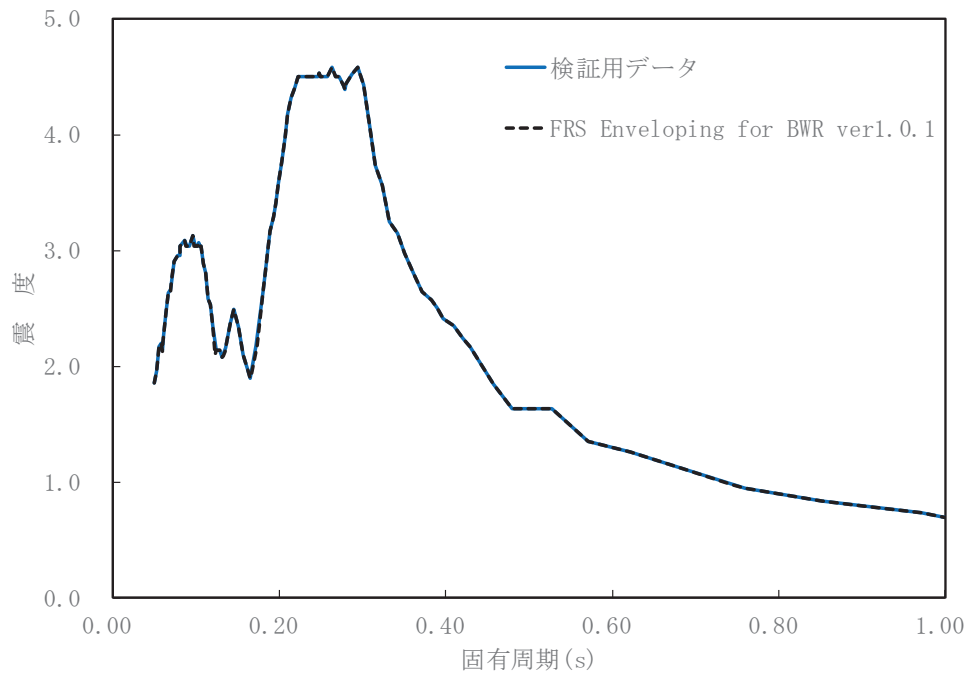


図 3-8 検証用データと本解析コードの比較結果 (O.P. 15.0m 減衰 5.0%)

(4) 検証結果

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

なお，Ver. 1.0.1 から Ver. 1.1 への変更において，計算方法に係る変更はなく，両者の結果が一致することを確認している。

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。

- ・ 今回の工事計画で使用する機能は床応答スペクトルの拡幅機能及び包絡機能であるため，同一の入力条件の下で包絡・拡幅処理を実施し，別解析コード「VIANA」と本解析コードの結果を比較することで妥当性を確認している。
- ・ ±10%拡幅は J E A G - 4 6 0 1 - 1987 に従っており，妥当性は確認されている。

3.5.3 評価結果

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

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0083_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-76 計算機プログラム（解析コード）の概要
・COM3

2021年2月
東北電力株式会社

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.	COM3 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
3.3.1	FEM 解析の基礎式	5
3.3.2	基本構成則.....	7
3.4	解析フローチャート.....	9
3.5	検証(Verification)と妥当性確認(Validation)	10
3.5.1	ソリッド要素の適用性の検証.....	10
3.5.2	妥当性確認.....	13
3.5.3	評価結果.....	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）COM3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
VI-2-2-8	海水ポンプ室の耐震性についての計算書	ver. 9. 15
VI-2-2-10	第3号機海水ポンプ室の耐震性についての計算書	ver. 9. 15
VI-2-10-4-3	取水口の耐震性についての計算書	ver. 9. 15
VI-2-10-4-4-2	取水路（標準部）の耐震性についての計算書	ver. 9. 15

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	COM3
使用目的	3次元有限要素法（非線形ソリッド要素）による静的解析
開発機関	東京大学
開発時期	1980年代
使用したバージョン	ver. 9.15
コードの概要	<p>COM3（以下「本解析コード」という。）は、東京大学コンクリート研究室で開発された、有限要素法（FEM）による鉄筋コンクリート構造物の動的/静的非線形プログラムであり、コンクリートに発生するひび割れによって鉄筋とコンクリートに生じる局所的な応力分布を鉄筋コンクリート部材としての平均的な応力と平均ひずみの関係として表現する構成則を用いてひび割れ発生に伴う非線形挙動を解析するコードである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計算に用いる構成則のモデルが適正であることは、鉄筋コンクリート版に関する載荷実験と応力-ひずみ関係を比較することで確認している。 ・本解析コードによる非線形ソリッド要素を用いた解析結果と実験結果がおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる3次元有限要素法による応力解析について、国内の原子力産業界における使用実績があり、十分に妥当性が確認されている。 ・本工事計画における3次元有限要素法による静的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。

3. COM3 の解析手法について

3.1 一般事項

COM3は、東京大学コンクリート研究室で開発された、有限要素法（FEM）による鉄筋コンクリート構造物の3次元動的・静的非線形解析プログラムである。非線形材料に関する構成則は、実験結果を忠実に再現した経路依存型の履歴モデルを採用している。分散ひび割れモデルと離散ひび割れモデルの組み合わせにより、部材の全体的な挙動を非常に精度よく追跡することが可能である。

本解析コードは、海水ポンプ室、第3号機海水ポンプ室、取水口及び取水路（標準部）の耐震安全性評価のための3次元静的材料非線形解析に用いる。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードは、コンクリートに発生するひび割れによって鉄筋とコンクリートに生じる局所的な応力分布を、鉄筋コンクリート部材としての平均的な応力と平均ひずみの関係として表現する構成則を用いてひび割れ発生に伴う非線形挙動を解析するコードである。

- ・鉄筋コンクリート構造物の挙動は、コンクリート及び鉄筋の各応力と剛性を「平均応力ー平均ひずみ」の関係で与えられる材料構成則から求め、それらを足し合わせることで表現している。（分散ひび割れ法）。
- ・コンクリート及び鉄筋のそれぞれの材料非線形モデルを基に、有限要素法を用いて非線形方程式を解くことにより、鉄筋コンクリート構造物全体の挙動を求めている。
- ・多方向のひび割れが考慮できる。
- ・コンクリート及び鉄筋は完全固着としている。（ひずみが同一の値となる）。

3.3 解析手法

3.3.1 FEM 解析の基礎式

FEM 解析の基礎式として、荷重レベル t (または時刻 t) において、応力とひずみは次のように表される。

$$\boldsymbol{\sigma}_t = \mathbf{D}(\boldsymbol{\varepsilon}_t), \quad \boldsymbol{\varepsilon}_t = \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}_t \cdots \cdots \cdots (3.1)$$

ここに、 $\boldsymbol{\sigma}_t$ は応力ベクトル、 \mathbf{D} は応力-ひずみ関係、 $\boldsymbol{\varepsilon}_t$ はひずみベクトル、 \mathbf{B} はひずみ-変位マトリックス、 \mathbf{u}_t は変位ベクトル。仮想仕事の原理より、外力 \mathbf{F}_t と内力 \mathbf{P}_t の釣合い条件式は次式となる。

$$\mathbf{F}_t = \mathbf{P}_t \cdots \cdots \cdots (3.2)$$

ここに、

$$\mathbf{P}_t = \sum \int \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}_t dV \cdots \cdots \cdots (3.3)$$

材料非線形性を考慮して式(3.2)を解くために、荷重レベルを $\mathbf{F}_0, \mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_n$ のように分割する。荷重レベル t の解 (\mathbf{u}_t と $\boldsymbol{\sigma}_t$) を用いて、次式で表される荷重レベル $t + \Delta t$ の釣合い条件式の解 ($\mathbf{u}_{t+\Delta t}$ と $\boldsymbol{\sigma}_{t+\Delta t}$) を求める。

$$\mathbf{F}_{t+\Delta t} - \mathbf{P}_{t+\Delta t} = 0, \quad \mathbf{P}_{t+\Delta t} = \sum \int \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}_{t+\Delta t} dV \cdots \cdots \cdots (3.4)$$

解は Newton 法による反復計算の収束値として求めるが、はじめに荷重レベル $t + \Delta t$ の初期解を次のように求める。

$$\mathbf{K}_t \Delta \mathbf{u}^{(0)} = \mathbf{F}_{t+\Delta t} - \sum \int \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}_{t+\Delta t} dV \cdots \cdots \cdots (3.5)$$

$$\mathbf{u}_{t+\Delta t}^{(0)} = \mathbf{u}_t + \Delta \mathbf{u}^{(0)}, \quad \Delta \boldsymbol{\varepsilon}^{(0)} = \mathbf{B} \cdot \Delta \mathbf{u}^{(0)} \cdots \cdots \cdots (3.6)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{t+\Delta t}^{(0)} = \boldsymbol{\varepsilon}_t + \Delta \boldsymbol{\varepsilon}^{(0)}, \quad \boldsymbol{\sigma}_{t+\Delta t}^{(0)} = \mathbf{D}(\boldsymbol{\varepsilon}_{t+\Delta t}^{(0)}) \cdots \cdots \cdots (3.7)$$

ここに、

$$\mathbf{K}_t = \sum \int \mathbf{B}^T (\partial \mathbf{D} / \partial \boldsymbol{\varepsilon})_t \mathbf{B} dV \cdots \cdots \cdots (3.8)$$

以降、反復回数 (i) での収束計算スキームは、

$$\mathbf{K}_{t+\Delta t}^{(i-1)} \Delta \mathbf{u}^{(i)} = \mathbf{F}_{t+\Delta t} - \mathbf{P}_{t+\Delta t}^{(i-1)} \cdots \cdots \cdots (3.9)$$

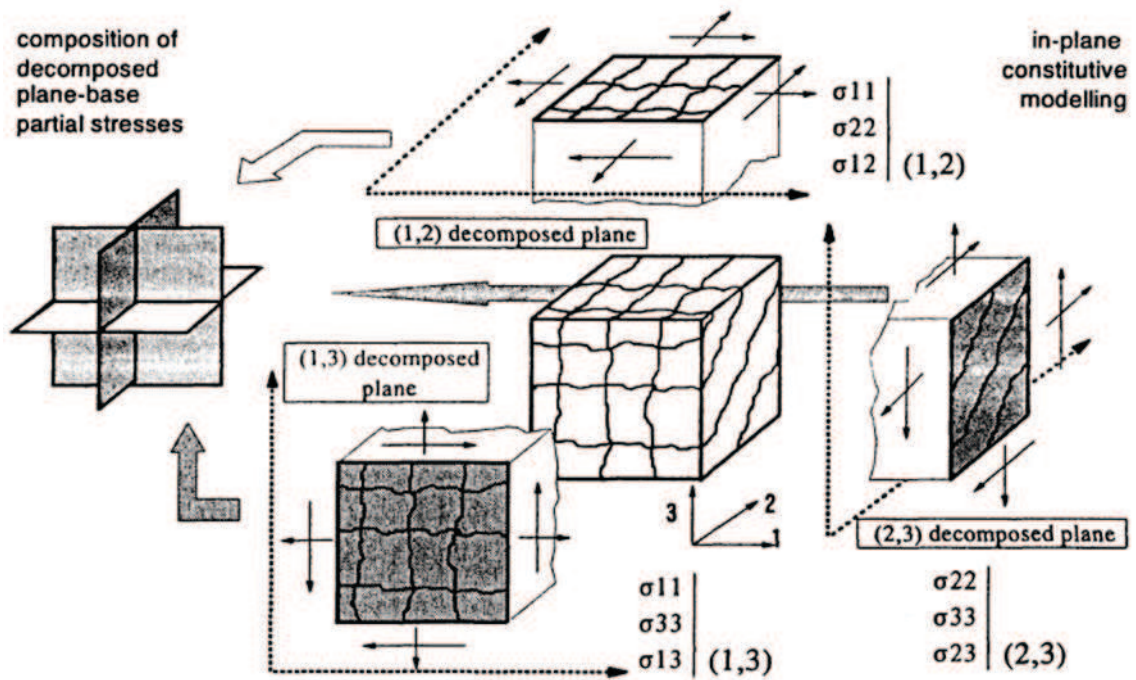
$$\mathbf{u}_{t+\Delta t}^{(i)} = \mathbf{u}_{t+\Delta t}^{(i-1)} + \Delta \mathbf{u}^{(i)}, \quad \boldsymbol{\sigma}_{t+\Delta t}^{(i)} = \mathbf{D}(\boldsymbol{\varepsilon}_{t+\Delta t}^{(i)}) \cdots \cdots \cdots (3.10)$$

ここに,

$$\mathbf{P}_{t+\Delta t}^{(i-1)} = \Sigma \int \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}_{t+\Delta t}^{(i-1)} dV \dots \dots \dots (3.11)$$

3.3.2 基本構成則

本解析コードでは，図 3-1 に示すように，開口が最も大きいひび割れ面に平行な平面および直交する 2 平面からなる 3 つの 2 次元平面において，それぞれ 2 次元の基本構成則を適用し，これらを合算することによって 3 次元応力場に拡張している。以下では，2 次元平面における基本構成則を示す。

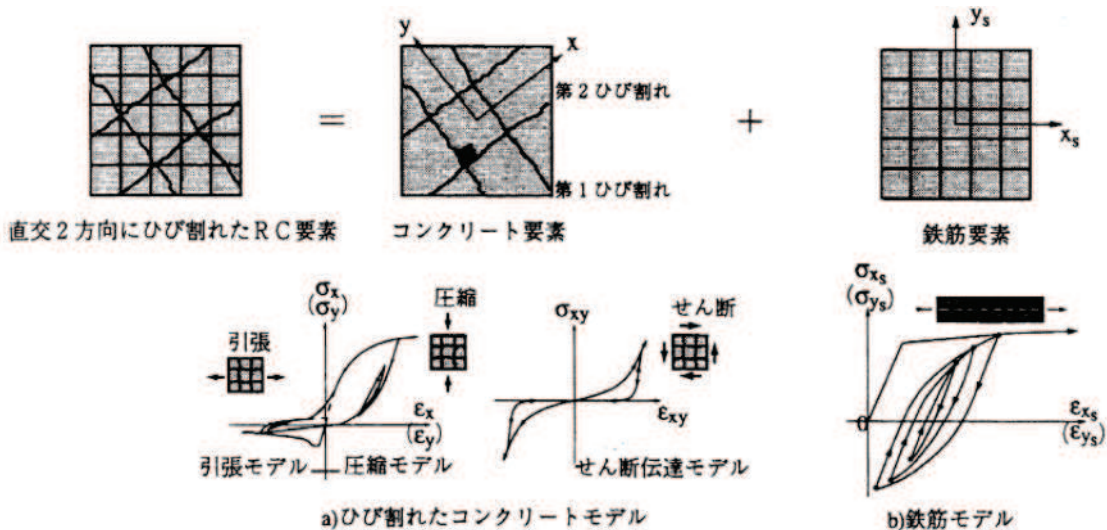


出典：Bernhard HAUKE, Koichi MAEKAWA : Three-dimensional modelling of reinforced concrete with multi-directional cracking, Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements, JSCE, No.634/V-45, pp.349-368, 1999.11

図 3-1 投影法による 3 次元応力場への拡張

コンクリートの非線形特性は、コンクリートの構成則と鉄筋の構成則の重ね合わせで表現している。分散ひび割れモデルを採用しているため、ひび割れたコンクリートの構成則及び鉄筋の構成則は、要素内の平均応力と平均ひずみの関係で与えられることになる。

図 3-2 に示すように、ひび割れたコンクリートの構成則は、引張剛性モデル、圧縮剛性モデル及びせん断剛性モデルを組み合わせたものである。これにコンクリート中の鉄筋の引張剛性モデルを重ね合わせて鉄筋コンクリート要素としている。



出典：前川宏一，福浦尚之：疑似直交2方向ひび割れを有する平面RC要素の空間平均化構成モデルの再構築，土木学会論文集，No. 634/V-45，pp157-176，1999.11

図 3-2 直交2方向にひび割れた鉄筋コンクリート要素

3.4 解析フローチャート

各平面における解析フローチャートを図 3-3 に示す。

本解析コードでは、図 3-1 に示すように、3 つの平面でそれぞれ算定し、座標変換によって合算している。

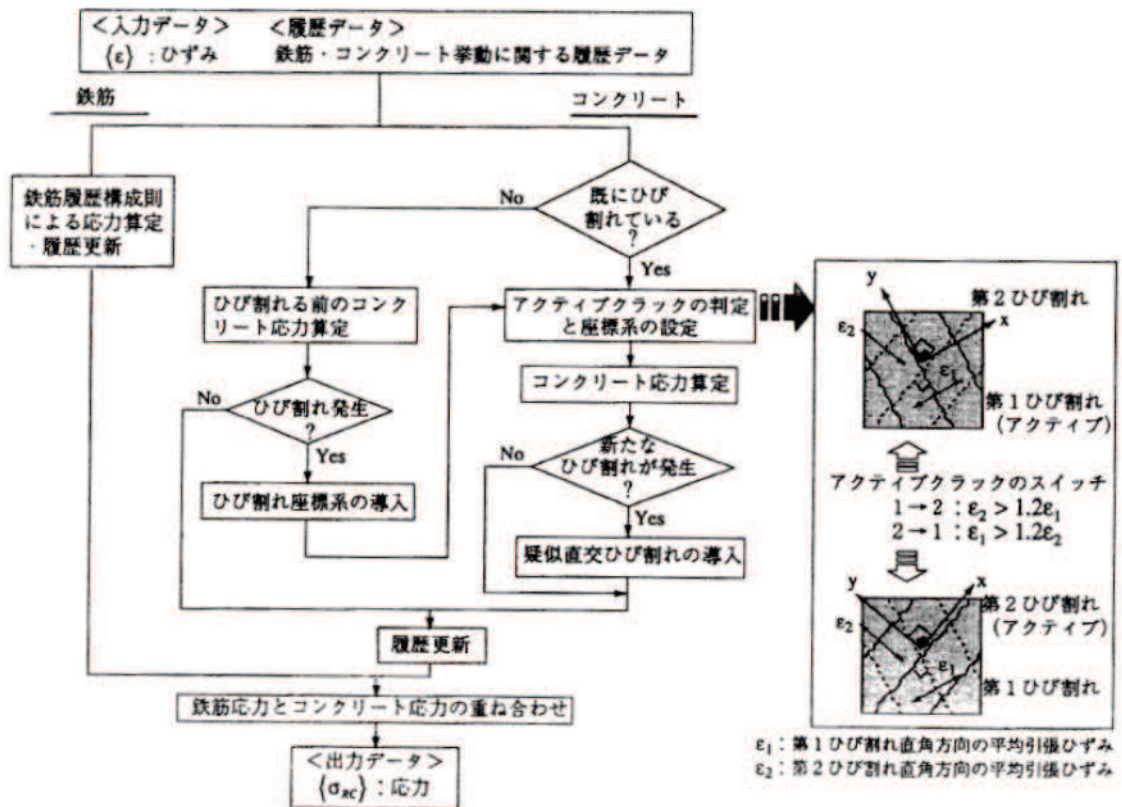


図-10 疑似直交2方向にひび割れる鉄筋コンクリート要素の応力算定

出典：前川宏一，福浦尚之：疑似直交2方向ひび割れを有する平面RC要素の空間平均化構成モデルの再構築，土木学会論文集，No. 634/V-45，pp157-176，1999.11

図 3-3 各平面における解析フローチャート

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

3.5.1 ソリッド要素の適用性の検証

3次元非線形ソリッド要素は、コンクリート及び鉄筋の非線形特性を考慮し、鉄筋コンクリート部材を複数のソリッド要素の集合体とみなしモデル化する要素である。3次元非線形ソリッド要素を用いた解析の適用性は、単純ばりモデルの荷重-変位関係について、本解析コードによる解析結果と実験結果を比較することで検証する。

(1) 実験概要

比較対象とする実験の概念図を図3-4に示す。実験では鉄筋コンクリートはりの試験体に対し、試験体天端2点に載荷し、試験体中央位置での鉛直変位に関する荷重-変位関係を確認する。

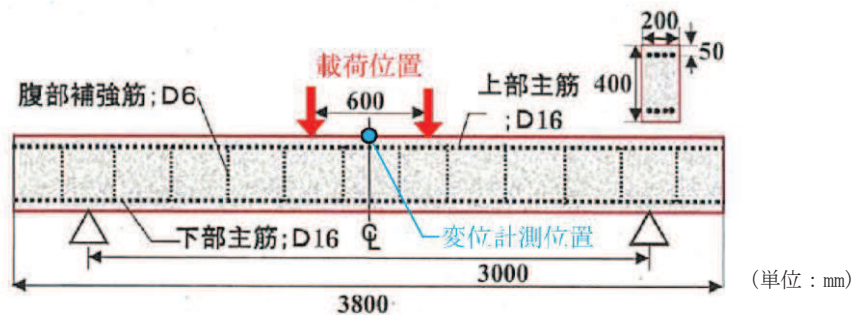


図 3-4 実験概念図

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針 (技術資料) (2005年) より引用)

(2) 解析モデル

解析モデルは図3-4の実験概念図に基づき、3次元ソリッド要素でモデル化する。解析に用いる要素分割を図3-5に示す。また、解析における境界条件は、底面片側固定、片側水平ローラーとして、頂部2点に強制変位を与えた(図3-6)。本解析はRC要素とPL要素に領域を分割する。また、載荷版及び支点は弾性のコンクリート部材としてモデル化する。

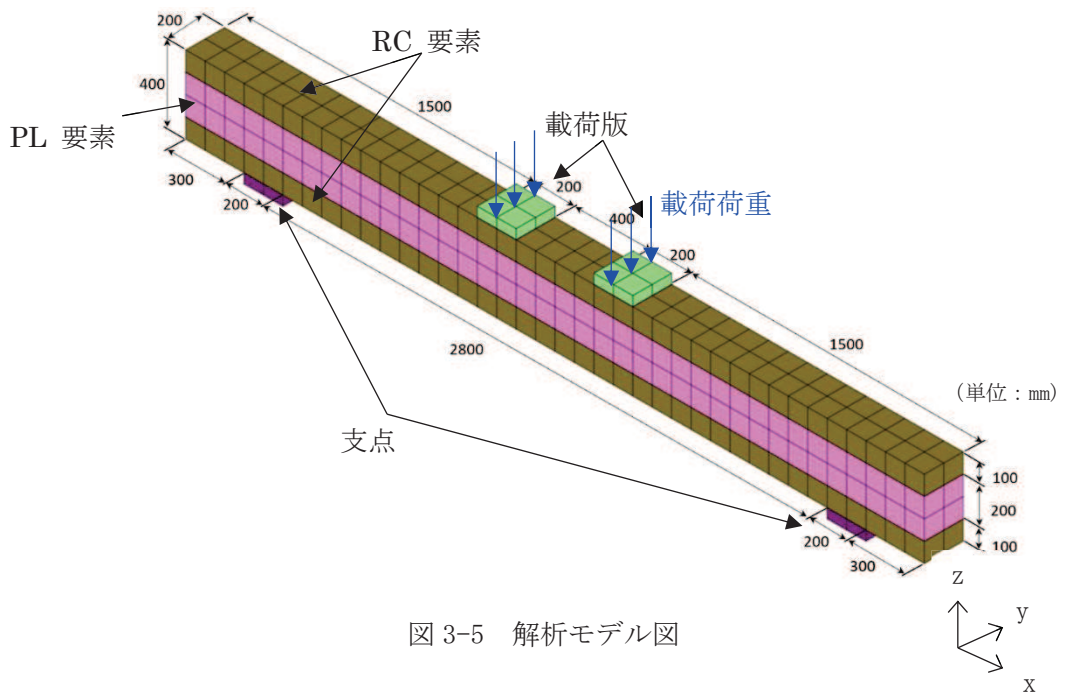


図 3-5 解析モデル図

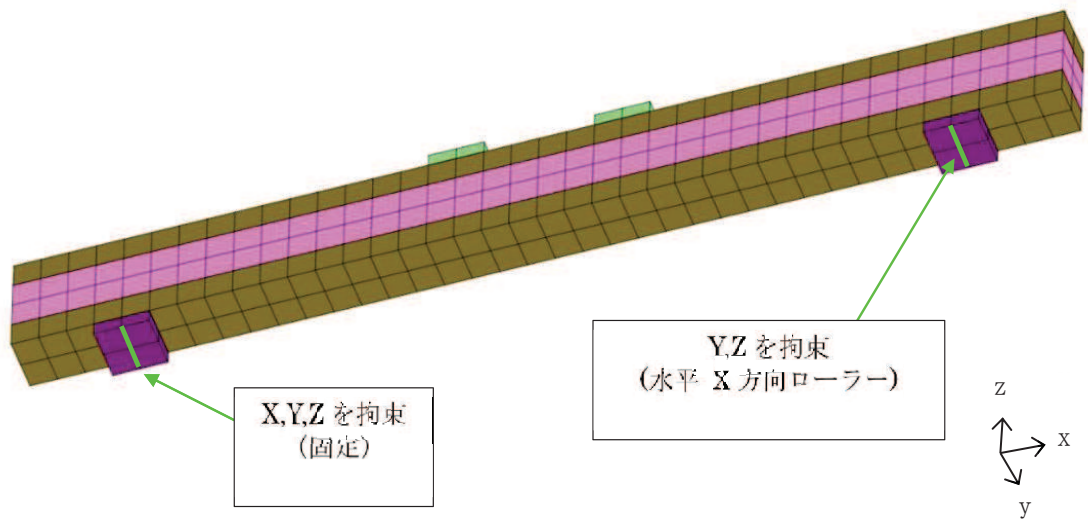


図 3-6 境界条件

(3) 解析用物性値

解析用物性値を表 3-1 に示す。

表 3-1 解析用物性値

コンクリート	圧縮強度 f_c (N/mm ²)	45.3
	引張強度 f_t (N/mm ²)	3.7
	ヤング係数 E_c (N/mm ²)	3.06×10^4
鉄筋	降伏強度 f_y (N/mm ²)	344
	ヤング係数 E_s (N/mm ²)	1.94×10^5

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針 (技術資料) (2005 年) より引用)

(4) 解析条件

図 3-4 の実験概念図の載荷位置と同様に、図 3-5 に示す載荷位置に載荷し、モデル中央位置における荷重-変位関係を算出する。

(5) 結果の検証

解析結果と実験結果の荷重-変位関係の比較を図 3-7 に示す。

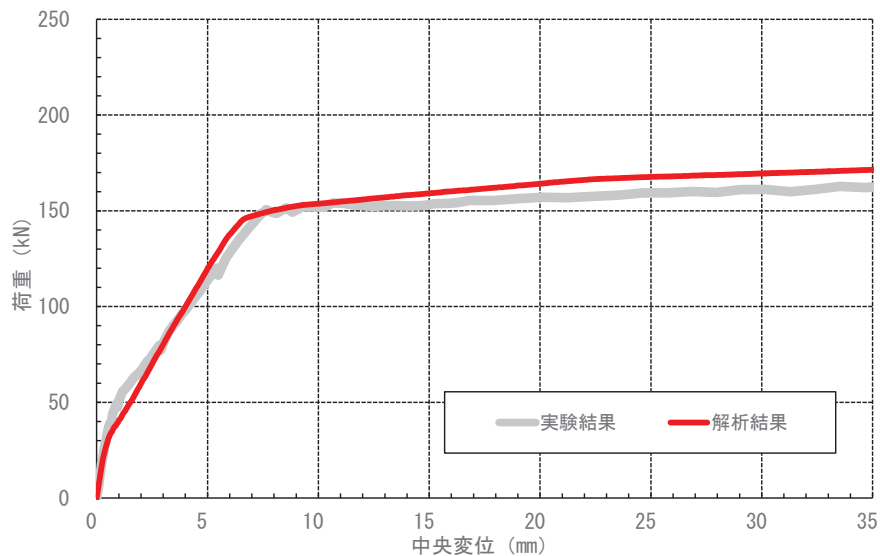


図 3-7 荷重-変位関係の比較

解析結果と実験結果の荷重-変位関係はおおむね一致しており、鉄筋降伏時の荷重もおおむね同等である。以上より、3次元非線形ソリッド要素を用いた解析の適用性を確認した。

3.5.2 妥当性確認

本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。

- ・本解析コードは、国内の土木・建築分野における使用実績を有しており、十分に妥当性が確認されている。
- ・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、検証の結果をもって、解析機能の妥当性も確認できる。
- ・本工事計画で使用する応力解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3.5.3 評価結果

以上の検証結果及び妥当性確認結果により、本解析コードを、建物・構築物及び屋外重要土木構造物の応力解析に使用することは妥当である。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0084_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-77 計算機プログラム（解析コード）の概要

- GETFLOWS

2021年2月

東北電力株式会社

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. 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 数値解法.....	4
4. 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	6
4.1 検証 (Verification)	6
4.1.1 室内変水位試験.....	6
4.1.2 揚水試験.....	11
4.1.3 地下水面の応答問題.....	16
4.2 妥当性確認 (Validation)	20
4.3 評価結果.....	20
5. 引用文献.....	21

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）GETFLOWS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
VI-2-1-3	地盤の支持性能に係る基本方針	Ver. 6. 64. 0. 2

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	GETFLOWS
使用目的	浸透流解析
開発機関	(株) 地圏環境テクノロジー
開発時期	2019年(初版開発時期 2000年)
使用したバージョン	Ver. 6.64.0.2
コードの概要	<p>GETFLOWS(General purpose Terrestrial fluid FLOW Simulator)は、陸域における流体流動、物質及び熱輸送挙動を解析する三次元汎用数値シミュレータである。本シミュレータは、等温、非等温状態における多相多成分流体システムを対象とし、実験室スケールから流域スケールの三次元問題を安定かつ高速に解くことが可能である。適用事例は、一般的な地下水解析、河川流出解析、洪水・はん濫解析、地表水・地下水の相互作用解析、汚染物質を含む移流分散解析など多岐に渡る。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは積分型有限差分法を用いた三次元汎用数値シミュレータであり、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の解析に広く利用されていることを確認している。 ・水-空気2相流解析の標準的問題を例に、理論解と解析結果を比較し、よく一致していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、土木、環境、資源、エネルギー、農林水産、災害・防災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。

3. 解析手法について

3.1 一般事項

GETFLOWS は、様々な流体现象を評価するために非常に大規模な三次元非定常問題を高速で解析することを目的として開発されたものである。

3.2 解析コードの特徴

本シミュレーションは、地表流動および地下水流動について、統一的な数学モデルの下で同時に扱うことを可能にし、対象とする水循環系をより自然に捉えることを可能にした解析コードである。

主な適用分野は、ダム建設計画や貯水・渇水量予測などの「水資源問題」、重金属、農薬等による土壌・地下水汚染や放射性廃棄物の地層処分などに代表される「水環境問題」、洪水予測、豪雨時における斜面崩壊、土石流被害予測などの「水災害問題」である。

3.3 数値解法

空間離散化は、複雑な地形起伏や地盤物性分布を、三次元格子を用いてモデル化し、それぞれの格子体積および隣接格子間の絶対浸透率を正確に評価する。

三次元格子モデルの概念を図 3-1 に示す。格子システムは大別して役割の異なる 3 つの層（大気層、地表層、地下地盤層）から構成される。各層の概要を以下に示す。

地表層格子では河川や斜面を流れる地表水、湖沼・海洋の停留水を表現する。層流状態の空気相の流動も同時に考慮される。地表水の移動は地表面格子層に沿う浅水流として扱い、質量保存式と拡散波近似を適用した運動量保存式により記述される。場所による地表水の移動し易さの相違は土地利用や被覆状態に応じた等価粗度係数として考慮され、個々の格子に与えられる。また、地表層の間隙率は通常 1.0 であり、毛細管圧力 0 であるが、地下浸透・湧出においては疑似毛管効果が計算され、浸透・湧出が整合的に表現される。

地下地盤層を構成する格子は、一般化ダルシー則に従った多相多成分流体流動を表現する。個々の格子には地層の水理物性（間隙率、絶対浸透率、毛細管圧力、相対浸透率）を与え、流体相圧力と飽和率、濃度が状態量（未知量）として解かれる。

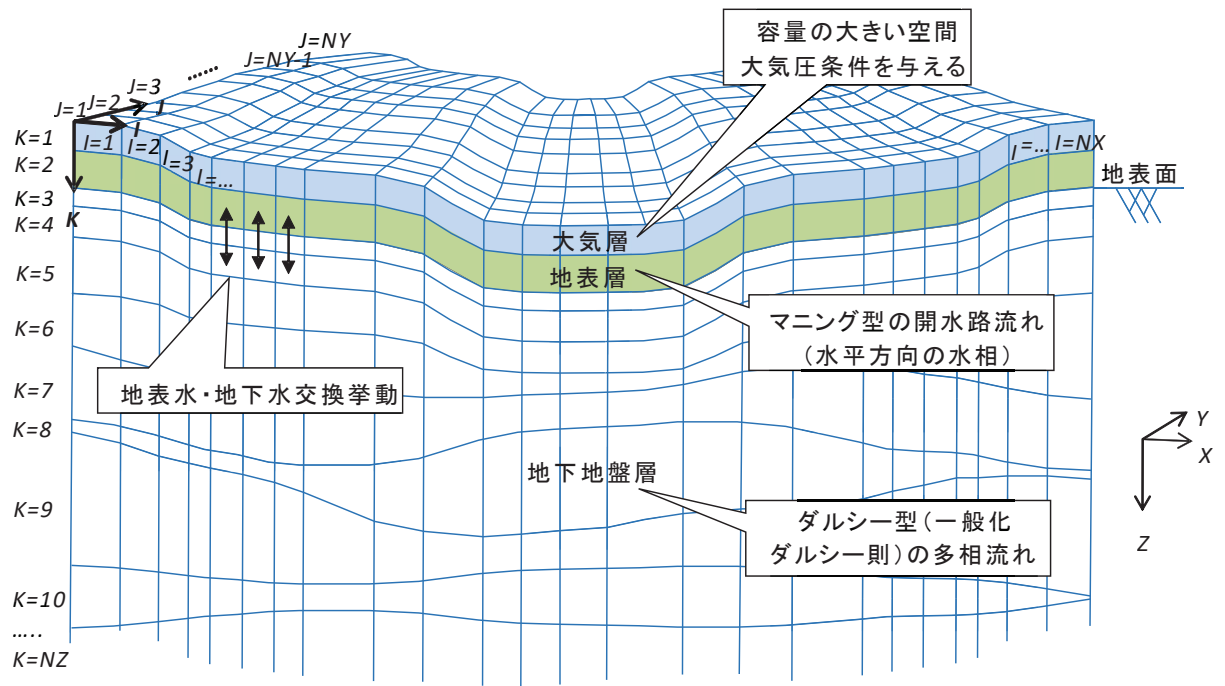


図 3-1 三次元格子モデルの概念

4. 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

4.1 検証 (Verification)

本解析コードの検証として、変水位試験における変水位の経時変化、揚水試験における被圧帯水層内圧力の経時変化、及び潮位変動問題における水位応答について解析を実施し、理論解と比較する。

4.1.1 室内変水位試験

(1) テストケース

変水位試験系の概念を図 4-1 に示す。断面積 $A[m^2]$ 、長さ $L[m]$ の試料の変水位試験系を対象とし、ある初期水頭差を与えた際の変水位の経時変化を求め、理論解と比較する。流出側は標準大気圧条件で定圧境界とする。

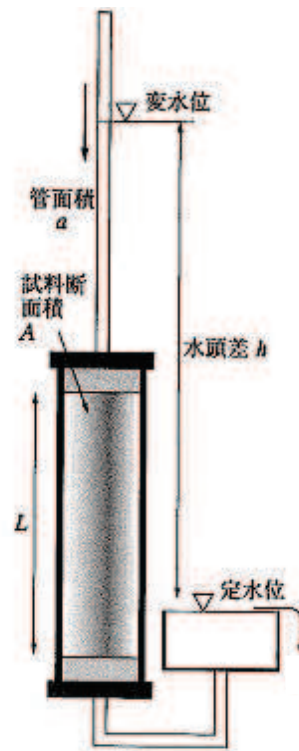


図 4-1 変水位試験系の概念

変水位試験系の水頭差 $h[m]$ の経時変化の理論解は次式によって与えられる。

$$\ln h = -\frac{kA}{aL}t + \ln h_0 \dots \dots \dots (4.1)$$

ここで、 k は透水係数 $[m/s]$ 、 A は試料断面積 $[m^2]$ 、 L はカラム長 $[m]$ 、 a はカラム上部の管面積 $[m^2]$ 、 h_0 は初期水頭差 $[m]$ である。

(2) 解析モデル

解析に用いる格子モデルを図 4-2 に、格子モデルの諸元を表 4-1 に示す。

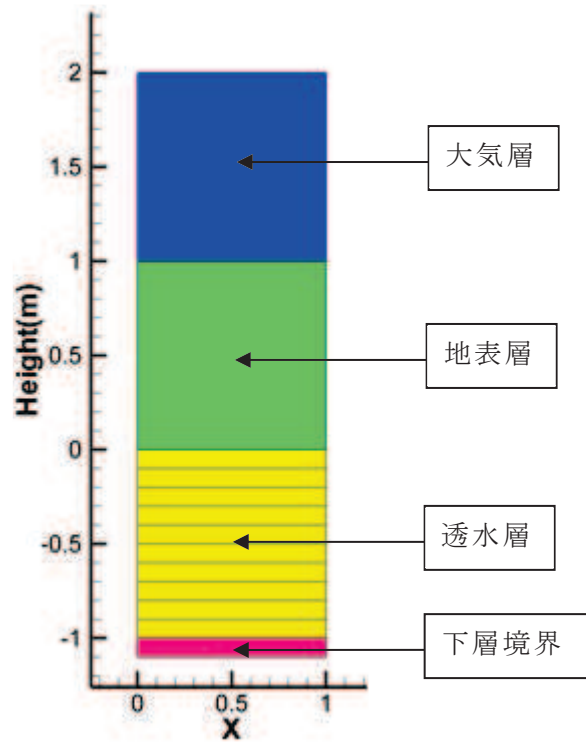


図 4-2 格子モデル

表 4-1 格子モデルの諸元

	記号	単位	設定値
格子数	NNBLK	[-]	13
X 方向分割数	NX	[-]	1
Y 方向分割数	NY	[-]	1
Z 方向分割数	NZ	[-]	13
カラム長	L	[m]	1.05
試料断面積	A	[m ²]	1
管断面積	a	[m ²]	1
重力加速度	g	[m/s ²]	9.80665

(3) 解析条件

解析に用いる条件について、流体物性を表 4-2 に、地層物性を表 4-3 に示す。また、ケース設定を表 4-4 に示す。

表 4-2 流体物性

	記号	単位	設定値
水相密度	ρ_w	[kg/m ³]	998.2
水相圧縮率	C_f	[1/Pa]	0
水相粘性係数	μ	[Pa・s]	1.002×10^{-3}

表 4-3 地層物性

	記号	単位	大気層	地表層	透水層	下層境界
密度	ρ	[kg/m ³]	2500	2500	2500	2500
間隙率	ϕ	[-]	1.0×10^{30}	1.0	0.3	1.0×10^{30}
絶対浸透率	K	[m ²]	9.87×10^{34}	9.87×10^{34}	1.00×10^{-12}	1.00×10^{-12}
圧縮率	C_r	[1/Pa]	0	0	0	0

表 4-4 ケース設定

	記号	単位	Case 1	Case 2	Case 3
初期水頭差	h_0	[m]	2.05	11.05	1.15

(4) 結果

Case1~Case3 における、解析結果と理論解の比較を図 4-3~図 4-5 に示す。

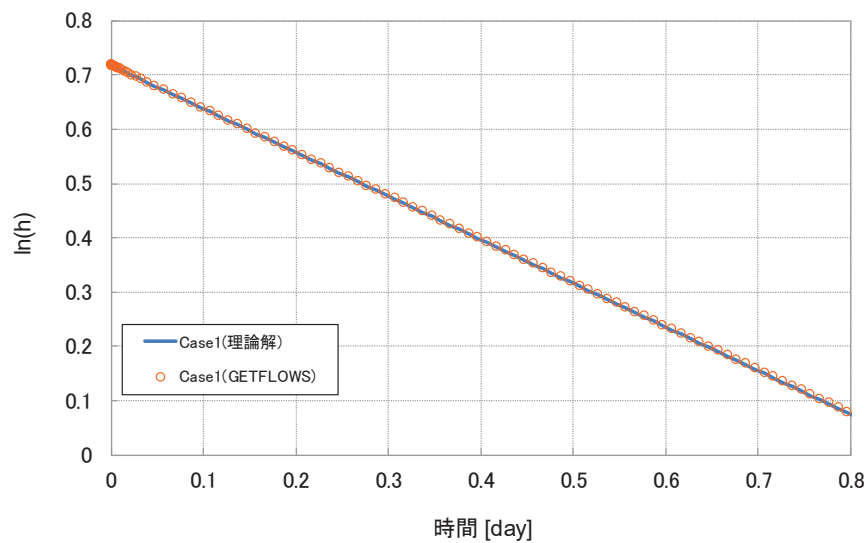


図 4-3 解析結果と理論解の比較 (Case1)

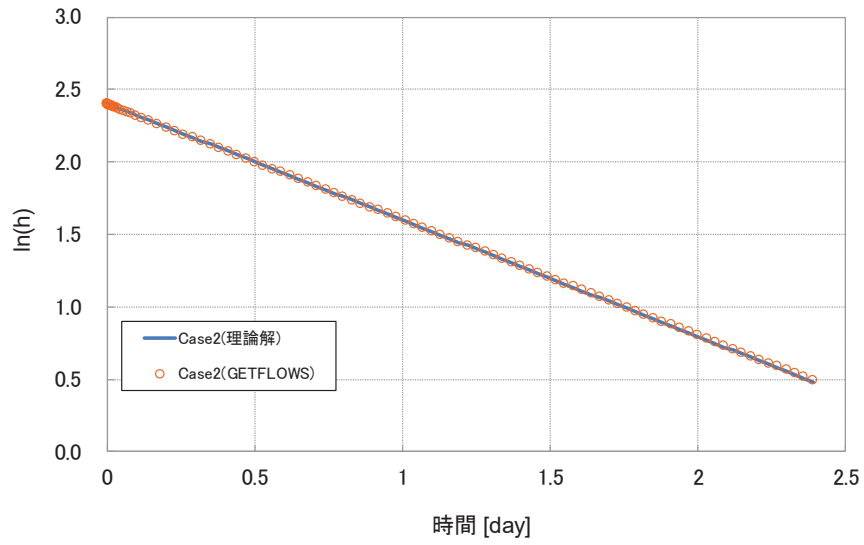


図 4-4 解析結果と理論解の比較 (Case2)

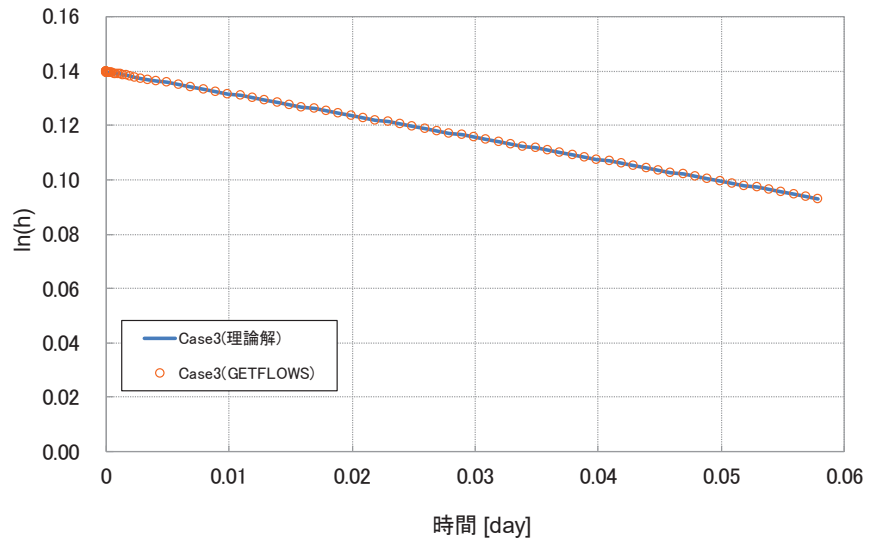


図 4-5 解析結果と理論解の比較 (Case3)

(5) 誤差評価

誤差評価は RMSE(平均二乗平方根誤差)で行った。データ数を N , 理論解を T_i ($i=1, \dots, N$), GETFLOWS の解析結果を A_i ($i=1, \dots, N$) とすると RMSE は次式で表わされる。各ケースにおける誤差を表 4-5 に示す。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (T_i - A_i)^2} \cdot \dots \cdot \dots \cdot (4.2)$$

表 4-5 各ケースにおける誤差

	初期水頭差 [m]	比較点数	比較期間 [day]	水位の RMSE [m]
Case1	2.05	100	0.8	8.690×10^{-4}
Case2	11.05		2.25	2.438×10^{-2}
Case3	1.15		0.058	1.691×10^{-5}

4.1.2 揚水試験

(1) テストケース

水平被圧帯水層からの揚水の概念を図 4-6 に示す。飽和した厚さ H [m] の一様な被圧帯水層を想定し、一定流量 Q [m³/s] で揚水した際の定常及び非定常状態の圧力 P [Pa] を求め、解析結果と比較する。定常状態での圧力場の理論解は水の圧縮性を考慮していないため、計算でも条件を合わせた。一方、非定常水位の理論解では流体圧縮性が考慮されているので、計算もそれに準じた。

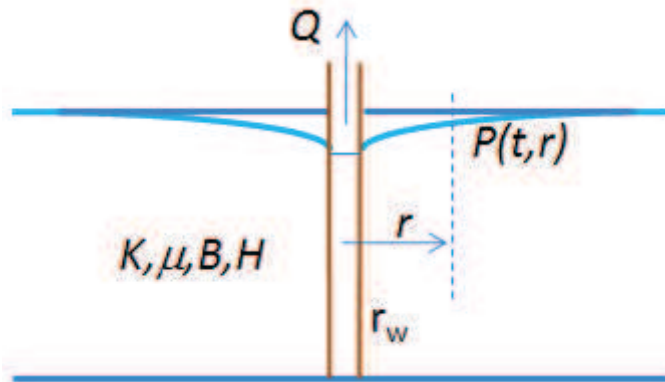


図 4-6 水平被圧帯水層からの揚水の概念

一定流量で揚水しているときの、定常状態での揚水井からの距離と圧力との関係は次式で与えられる。

$$P = P_0 - \frac{Q\mu}{2\pi KH} \cdot \ln\left(\frac{r_e}{r}\right) \cdot \dots \cdot \dots \cdot (4.3)$$

ここで、 P_0 は影響半径 r_e [m] における圧力 [Pa]、 Q は揚水量 [m³/s]、 μ は粘性係数 [Pa · s]、 K は絶対浸透率 [m²]、 H は地層厚さ [m]、 r は坑井中心からの距離 [m] である。

一方、非定常状態における、任意の時間における任意の地点での圧力の理論解は次式で表される。

$$P_i - P(t,r) = \frac{QB\mu}{2\pi KH} \left(\frac{1}{2} \ln t + \frac{1}{2} \ln \frac{K}{\phi\mu C_t r_w^2} + 0.40454 \right) \cdot \dots \cdot \dots \cdot (4.4)$$

ここで、 P_i は初期圧力 [Pa]、 B は容積係数 [-]、 t は時間 [s]、 ϕ は間隙率 [-]、 C_t は合算圧縮率 [1/Pa]、 r_w は坑井半径 [m] である。

(2) 解析モデル

解析に用いる格子モデルを図 4-7 に、格子モデルの諸元を表 4-6 に示す。

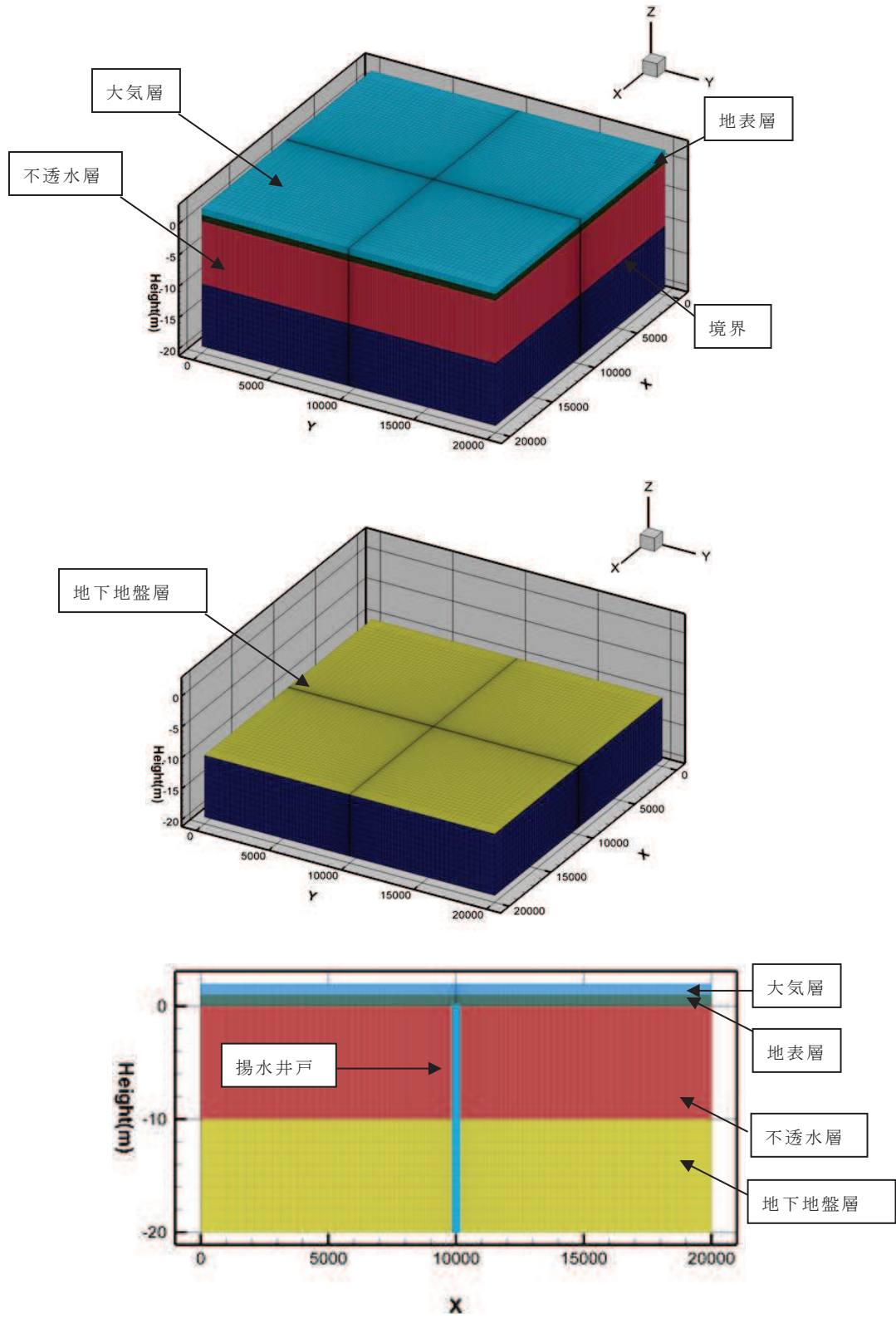


図 4-7 格子モデル

表 4-6 格子モデルの諸元

	記号	単位	設定値
格子数	NNBLK	[-]	132613
X 方向分割数	NX	[-]	101
Y 方向分割数	NY	[-]	101
Z 方向分割数	NZ	[-]	13
重力加速度	g	[m/s ²]	9.80665
層の厚さ	H	[m]	10
揚水量	Q	[m ³ /s]	1.736×10 ⁻⁴
坑井半径	r _w	[m]	0.01
影響半径	r _e	[m]	10000
初期圧力	P _i	[MPa]	0.106372
影響半径圧力	P ₀	[MPa]	0.106372

(3) 解析条件

解析に用いる条件について、流体物性を表 4-7 に、地層物性を表 4-8 に示す。

表 4-7 流体物性

	記号	単位	設定値
水相密度	ρ_w	[kg/m ³]	998.2
水相圧縮率	C _f	[1/Pa]	4.59×10 ⁻¹⁰
水相粘性係数	μ	[Pa・s]	1.002×10 ⁻³

表 4-8 地層物性

	記号	単位	大気層	地表層	地下地盤層	不透水層	境界
密度	ρ	[kg/m ³]	2500	2500	2500	2500	2500
間隙率	ϕ	[-]	1.0×10 ³⁰	1.0	0.5	1.0	1.0×10 ³⁰
浸透率	K	[m ²]	9.87×10 ⁻⁶	9.87×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻¹²	0	1.0×10 ⁻¹²
圧縮率	Cr	[1/Pa]	1.02×10 ⁻¹⁰	1.02×10 ⁻¹⁰	1.02×10 ⁻¹⁰	1.02×10 ⁻¹⁰	1.02×10 ⁻¹⁰

(4) 結果

非定常解析における解析結果と理論解の比較を図 4-8～図 4-9 に示す。

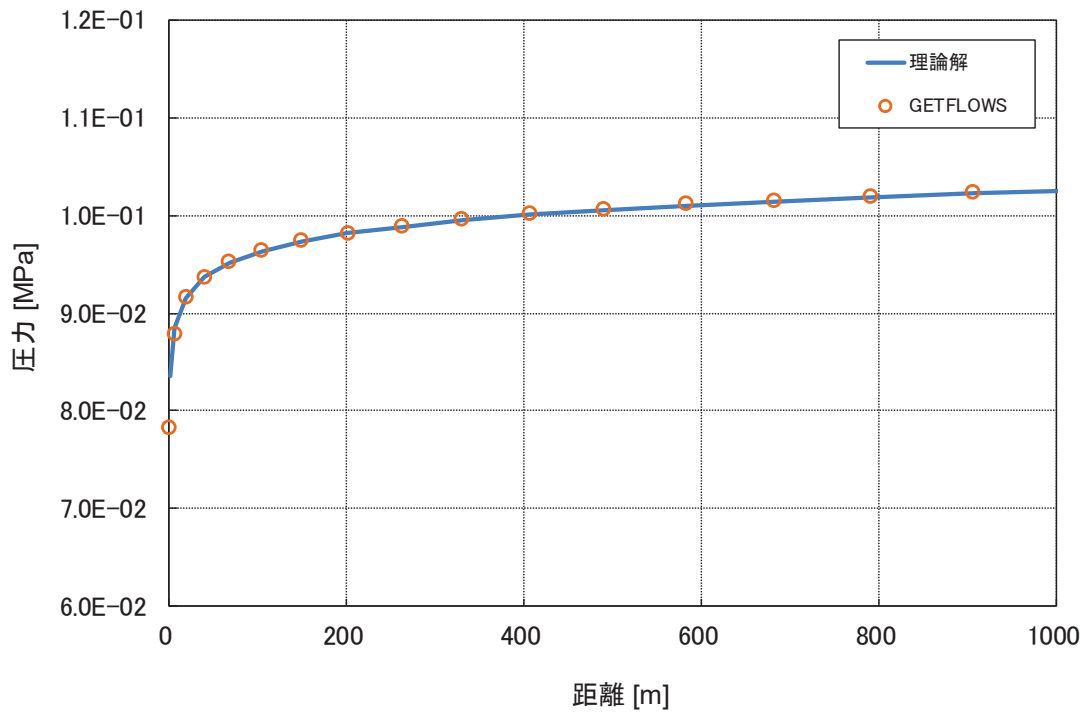


図 4-8 非定常解析における解析結果と理論解の比較
(20.5 日後の揚水井からの距離と圧力)

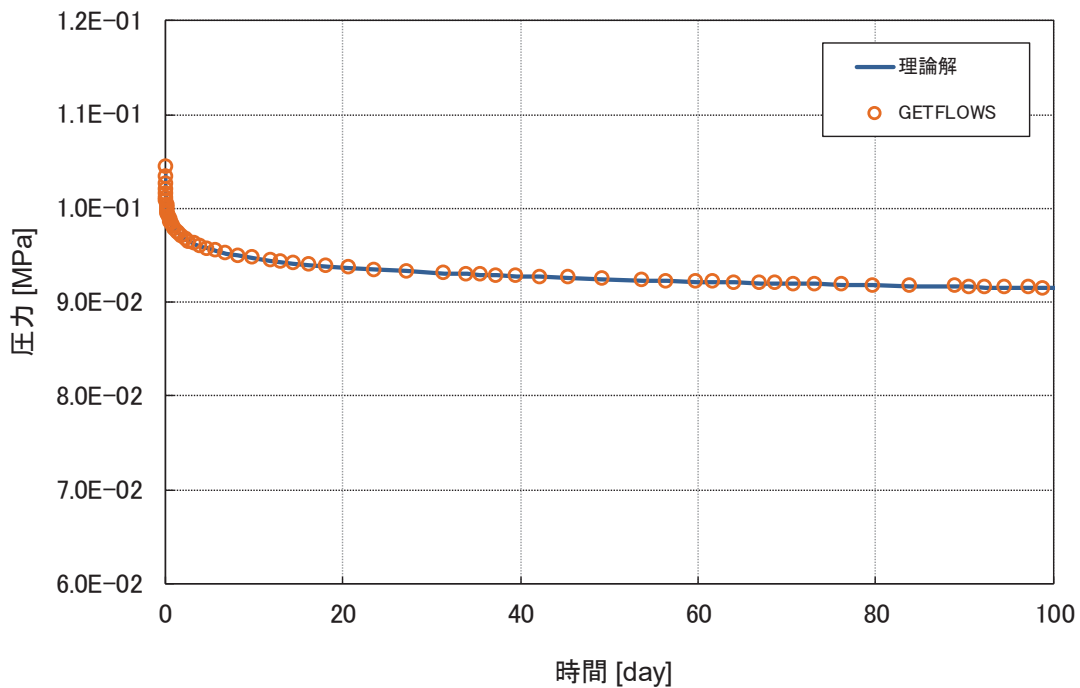


図 4-9 非定常解析における解析結果と理論解の比較
(39.6 m 地点での圧力経時変化)

(5) 誤差評価

誤差評価は RMSE(平均二乗平方根誤差)で行った。データ数を N, 理論解を T_i ($i=1, \dots, N$), GETFLOWS の解析結果を A_i ($i=1, \dots, N$) とすると RMSE は次式で表わされる。20.5 日後の揚水井からの距離と圧力での誤差を表 4-9 に, 39.6m 地点での圧力経時変化での誤差を表 4-10 に示す。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (T_i - A_i)^2} \dots \dots \dots (4.5)$$

表 4-9 20.5 日後の揚水井からの距離と圧力での誤差

時間 [day]	距離 [m]	比較点数	RMSE [MPa]
20.5	0~1000	16	3.121×10^{-4}

表 4-10 39.6 m 地点での圧力経時変化での誤差

時間 [day]	距離 [m]	比較点数	RMSE [MPa]
0~100	39.6	64	9.697×10^{-5}

4.1.3 地下水面の応答問題

(1) テストケース

周期的に変動する水面（潮汐運動を行う海域など）に隣接する被圧帯水層の水位応答を求め、理論解と比較する。水面変動に対する被圧帯水層内の地下水面応答の理論解は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \zeta_i(t, x) &= a \cdot \exp(-mx) \cos(\sigma t - mx) + h \\ \sigma &= 2\pi/T \quad \dots \dots \dots (4.6) \\ m &= \sqrt{\sigma S / (2kb)} \\ S &= \rho_w g \phi b (C_f + C_r) \end{aligned}$$

潮位変動に伴う地下水面応答の概念を図 4-10 に示す。ここで、 a は潮位振幅[m]、 x は海岸部からの距離[m]、 t は時間[s]、 T は周期[s]、 S は貯留係数[-]、 k は透水係数[m/s]、 b は被圧帯水層厚[m]、 ϕ は有効間隙率[-]、 h は平均海水位[m]、 ρ_w は液相密度[kg/m³]、 g は重力加速度[m/s²]、 C_f は液相圧縮率[1/Pa]、 C_r は地層圧縮率[1/Pa]である。

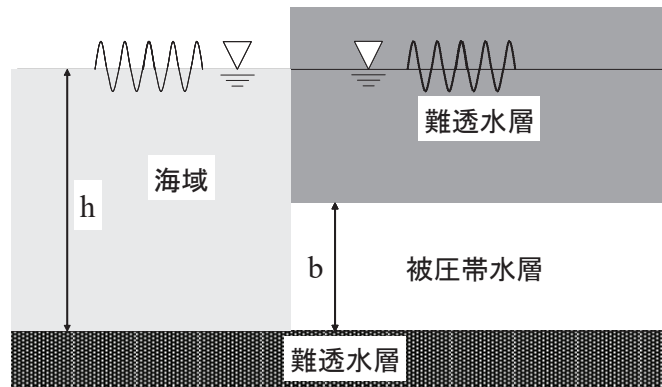


図 4-10 潮位変動に伴う地下水面応答の概念

(2) 解析モデル

解析に用いる格子モデルを図 4-11 に、格子モデルの諸元を表 4-11 に示す。

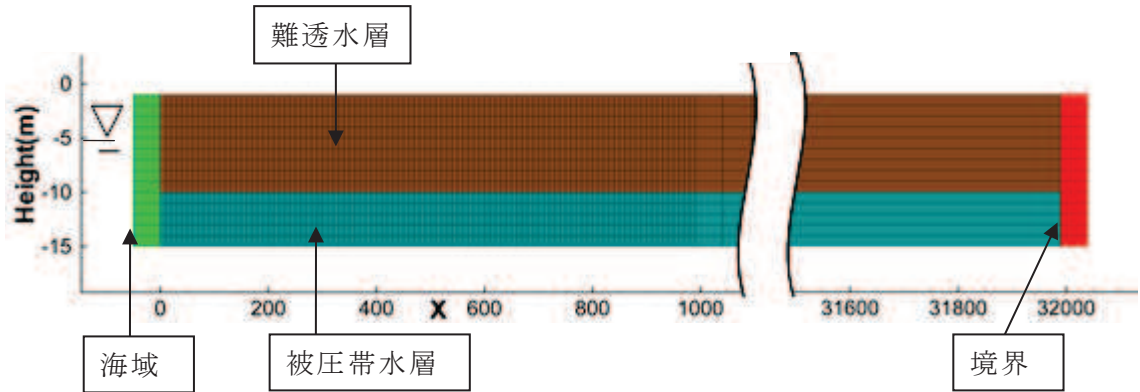


図 4-11 格子モデル

表 4-11 格子モデルの諸元

	記号	単位	設定値
格子数	NNBLK	[-]	3417
X 方向分割数	NX	[-]	201
Y 方向分割数	NY	[-]	1
Z 方向分割数	NZ	[-]	17

(3) 解析条件

解析に用いる条件について、流体物性を表 4-12 に、地層物性を表 4-13 に示す。
また、潮位変動条件を表 4-14 に示す。

表 4-12 流体物性

	記号	単位	設定値
水相密度	ρ_w	[kg/m ³]	1000
水相圧縮率	C_f	[1/Pa]	4.59×10^{-10}
水相粘性係数	μ	[Pa · s]	1.002×10^{-3}

表 4-13 地層物性

	記号	単位	難透水層	被圧帯水層	境界	海域
密度	ρ	[kg/m ³]	2500	2500	2500	2500
間隙率	ϕ	[-]	0.2	0.2	1.0×10^{30}	1.0×10^{30}
浸透率	K	[m ²]	0	1.0×10^{-12}	9.87×10^{34}	9.87×10^{34}
圧縮率	C_r	[1/Pa]	1.02×10^{-10}	1.02×10^{-10}	1.02×10^{-10}	1.02×10^{-10}

表 4-14 潮位変動条件

	記号	単位	設定値
初期水位	h_0	[m]	-5
潮位振幅	a	[m]	1
周期	T	[s]	86400
被圧帯水層厚	b	[m]	5
平均海水位	h	[m]	-5

(4) 結果

海岸からの距離と水位の関係による解析結果と理論解との比較を図 4-12 に示す。

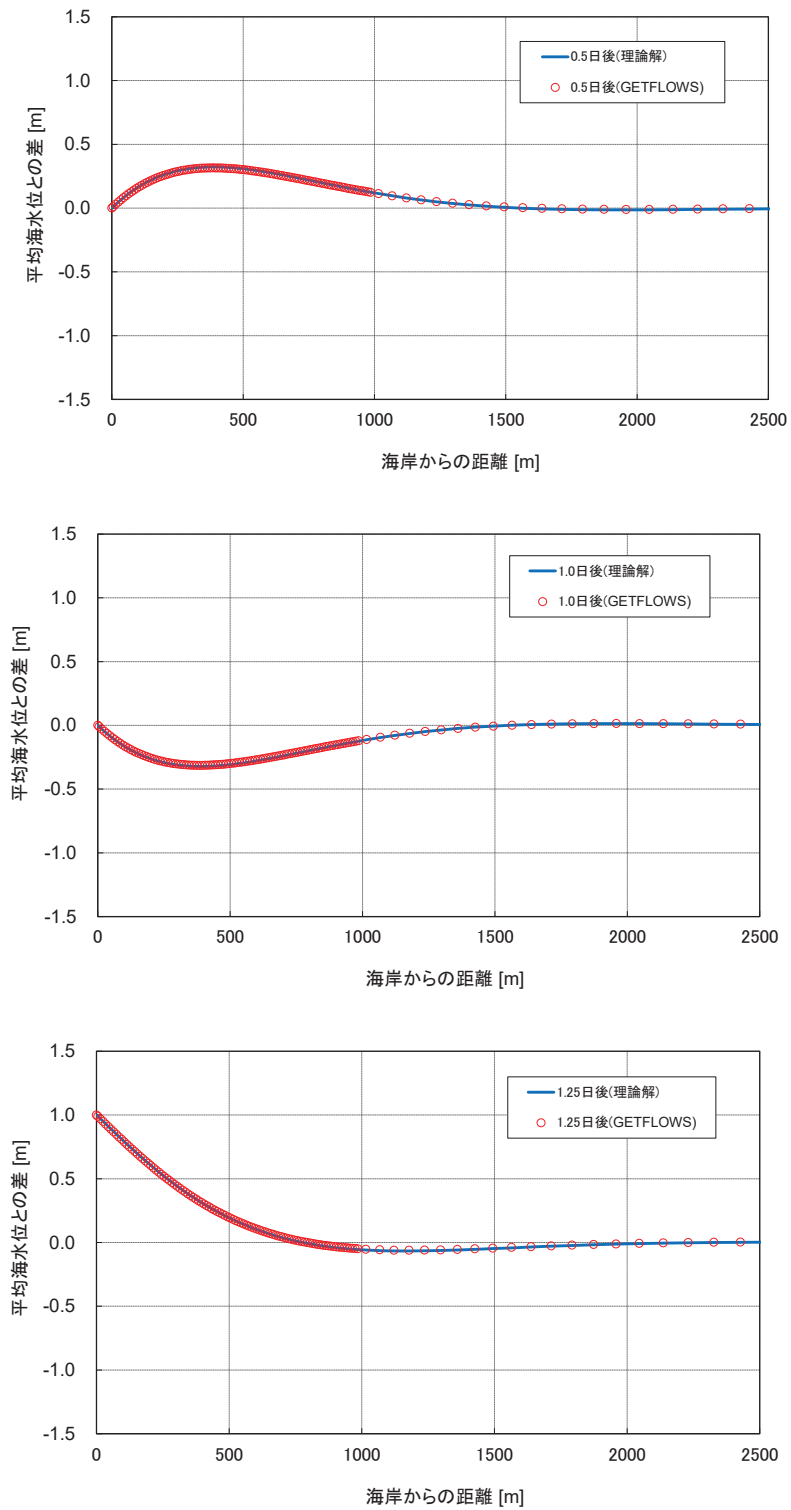


図 4-12 海岸からの距離と水位の関係による解析結果と理論解との比較

(5) 誤差評価

誤差評価は RMSE(平均二乗平方根誤差)で行った。データ数を N, 理論解を T_i ($i=1, \dots, N$), GETFLOWS の解析結果を A_i ($i=1, \dots, N$) とすると RMSE は次式で表わされる。海岸からの距離と水位の関係による誤差を表 4-15 に示す。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (T_i - A_i)^2} \dots \dots \dots (4.7)$$

表 4-15 海岸からの距離と水位の関係による誤差

経過日数 [day]	比較区間 [m]	比較点数	RMSE [m]
0.5	0~2500	120	4.582×10^{-4}
1	0~2500		5.162×10^{-4}
1.25	0~2500		3.516×10^{-4}
1.75	0~2500		2.547×10^{-4}

4.2 妥当性確認 (Validation)

本解析コードは、土木、環境、資源、エネルギー、農林水産、災害・防災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。

4.3 評価結果

4.1 及び 4.2 より、本解析コードを用いることは妥当である。

5. 引用文献

登坂博行著, 2007, 地圏水循環の数理 (東京大学出版会, p. 142pp. 218-226)

土木学会, 1999, 水理公式集 (pp. 350-351.)

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0085_改0
提出年月日	2021年6月17日

VI-5-78 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ AutoPIPE

2021年6月

東北電力株式会社

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）AutoPIPE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
VI-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	Ver. 12. 00. 00. 14
VI-2-別添 2-7	タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書	Ver. 12. 00. 00. 14
VI-2-別添 2-8	復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書	Ver. 12. 00. 00. 14

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	AutoPIPE
使用目的	有限要素法（はりモデル）による機器の固有値解析及び応力解析
開発機関	株式会社ベントレー・システムズ
開発時期	1986 年
使用したバージョン	Ver. 12. 00. 00. 14
コードの概要	<p>AutoPIPE（以下「本解析コード」という。）は、静的及び動的荷重に対する配管の応力を解析する計算機プログラムである。任意形状の3次元モデルに対して、有限要素法により静的解析及び動的解析を行い、応力、反力、変位等を算出することができる。</p> <p>主な解析機能として、内圧・熱膨張・強制変位・摩擦力等を考慮した線形・非線形の静的解析、固有値解析・時刻歴応答解析等の動解析、そしてハンガーサポートの自動選定があり、本解析コードは、工業用配管システム設計、建築・土木工学等の分野において、多くの実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード“ADL Pipe Static-Thermal-Dynamic Pipe Stress Analysis” (Arthur D. Little. Inc., Cambridge, Massachusetts, January 1971) による解析結果を比較し、結果が合致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、発電、石油・ガス、原子力等の様々な分野の配管解析に使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・本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解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画の解析の用途及び適用範囲が妥当性確認の範囲内であることを確認している。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0086_改0
提出年月日	2021年5月14日

VI-5-79 計算機プログラム（解析コード）の概要

・CR-IN

2021年5月
東北電力株式会

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）CR-IN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
VI-2-6-2-1	制御棒の耐震性についての計算書	Ver. 2.0

2. 解析コードの概要

項目	コード名 CR-IN
使用目的	地震時におけるスクラム時間評価
開発機関	東芝エネルギーシステムズ株式会社
開発時期	2020 年
使用したバージョン	Ver. 2.0
コードの概要	<p>CR-IN (以下「本解析コード」という。) は、地震時の 75%ストロークスクラム時間評価を目的として、チャンネルボックスのたわみによる制御棒とチャンネルボックスの接触力を [] に基づいて計算し、制御棒が受ける接触反力を駆動抗力の時刻歴に変換して 75%ストロークスクラム時間を運動方程式に基づいて計算するプログラムである。</p> <p>本解析コードでは、入力波として、水平方向・正弦波/地震波、鉛直方向・正弦波/地震波を扱うことができる。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】 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"> ・加振時の制御棒挿入性試験で 75%ストロークスクラム時間と本解析コードによる 75%ストロークスクラム時間とが一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・女川原子力発電所第 1 号機の工事計画認可において、同様の評価に本解析コード (Ver. 1.0) が使用された実績があり、妥当性は十分に確認されている。 <div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%; margin: 10px 0;"></div> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画において使用するバージョン (Ver. 2.0) は、既工事計画認可において使用されているものに、チャンネルボックスの塑性化及び鉛直地震動を考慮するため機能を追加したものである。バージョンアップに伴う追加機能は試験により検証し、本工事計画に使用することが妥当であることを確認している。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0087_改0
提出年月日	2021年6月16日

VI-5-80 計算機プログラム（解析コード）の概要

・Com3EvalSh

2021年6月

東北電力株式会社

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. Com3EvalSh 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	7
3.5 検証(Verification)と妥当性確認(Validation).....	8
3.5.1 検証(Verification).....	8
3.5.2 妥当性確認(Validation).....	8
3.5.3 まとめ	12
4. 引用文献	12

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）Com3EvalSh 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
VI-2-2-8	海水ポンプ室の耐震性についての計算書	Ver. 2021.01.27
VI-2-2-10	第3号機海水ポンプ室の耐震性についての計算書	Ver. 2021.01.27
VI-2-10-4-3	取水口の耐震性についての計算書	Ver. 2021.01.27
VI-2-10-4-4-2	取水路（標準部）の耐震性についての計算書	Ver. 2021.01.27

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	Com3EvalSh
使用目的	断面力算定
開発機関	前田建設工業株式会社
開発時期	2020年
使用したバージョン	Ver. 2021. 01. 27
コードの概要	Com3EvalSh (以下「本解析コード」という。) は、日本コンクリート協会のガイドライン (引用文献 (1) 参照) に基づき、解析コード COM3 より得られる各要素の応力から断面力を算出する解析コードである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードで算出した断面力が、理論解と一致していることを確認している。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3. Com3EvalSh の解析手法について

3.1 一般事項

Com3EvalSh は、前田建設工業株式会社で開発された、解析コード COM3 により得られた要素応力を部材の厚さ方向で集計することにより断面力を算出する解析コードである。

本解析コードは、解析コード COM3 により 3 次元静的材料非線形解析を行っている海水ポンプ室、第 3 号機海水ポンプ室、取水口及び取水路（標準部）の断面力算定に使用している。

3.2 解析コードの特徴

日本コンクリート協会のガイドライン（引用文献（1）参照）に基づき、要素応力（要素図心応力またはガウス積分点応力）を部材断面の図心軸周りに積分することで断面力を算定することができる。

3.3 解析手法

解析コード COM3 を用いた静的解析では部材の断面力を直接得られないため、要素応力（要素図心応力またはガウス積分点応力）から断面力を算出するには、要素応力を部材断面の図心回りに積分することで求められる（図 3-1 参照）。

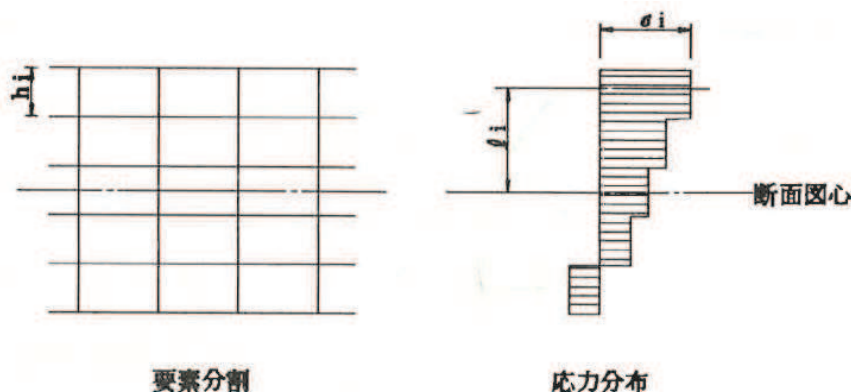


図 3-1 応力分布から断面力に変換する方法

（コンクリート構造物の設計に FEM 解析を適用するためのガイドラインより引用）

まず、解析コード COM3 により出力される応力は全体座標系で表示されており、局所座標 $x y$ 軸方向の断面力を算出するため、局所座標系の要素応力に変換する必要がある。全体座標 XYZ 軸の応力から局所座標 xyz 軸の応力への変換式を式(3.1)に示す。

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} \sigma_X & \tau_{XY} & \tau_{XZ} \\ \tau_{YX} & \sigma_Y & \tau_{YZ} \\ \tau_{ZX} & \tau_{ZY} & \sigma_Z \end{bmatrix} [C]^T \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで、 $[C]$ ：局所座標 xyz 軸の方向余弦からなる座標変換行列

座標変換を行った応力に対して断面力を算定する。局所座標 x , y 軸方向の単位幅あたりの断面力の算定式を式(3.2)～式(3.7)に、各要素の応力の方向を図 3-3 に、断面力の方向を図 3-4 に示す。

$$M_x = -\sum \sigma_{x(i)} h_i a_i z_i \cdots \cdots (3.2)$$

$$M_y = -\sum \sigma_{y(i)} h_i b_i z_i \cdots \cdots (3.3)$$

$$V_x = \sum \tau_{xz(i)} h_i a_i \cdots \cdots (3.4)$$

$$V_y = \sum \tau_{yz(i)} h_i b_i \cdots \cdots (3.5)$$

$$N_x = \sum \sigma_{x(i)} h_i a_i \cdots \cdots (3.6)$$

$$N_y = \sum \sigma_{y(i)} h_i b_i \cdots \cdots (3.7)$$

ここで、 a_i : 要素番号 i の x 軸に対する要素幅 ($a_i = 1.0$ m)

b_i : 要素番号 i の y 軸に対する要素幅 ($b_i = 1.0$ m)

h_i : 要素番号 i の要素の厚さ

z_i : 要素番号 i の要素の中心座標

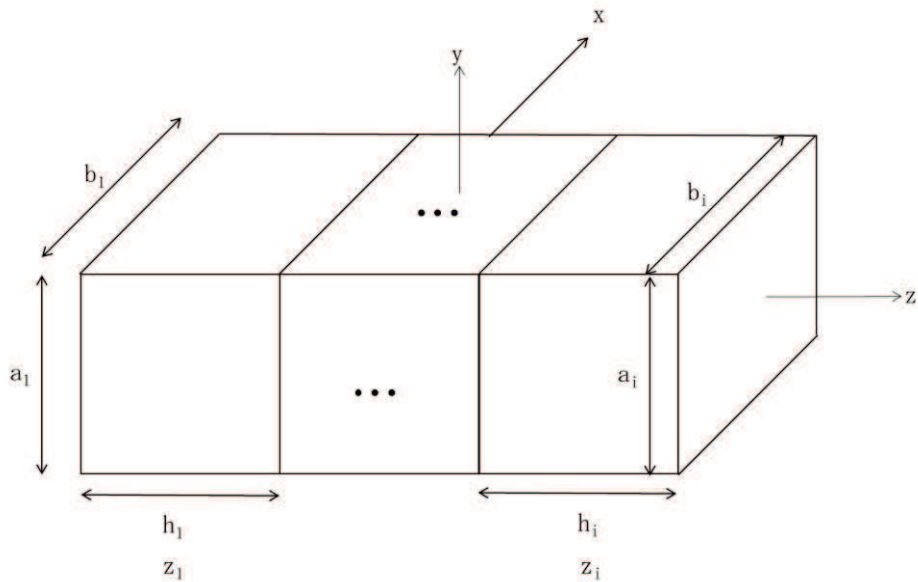


図 3-2 要素の厚さ及び中心座標の正の向き

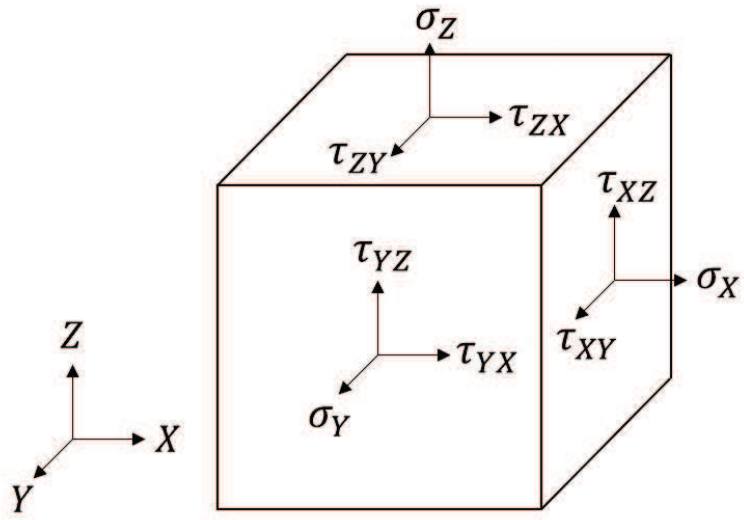
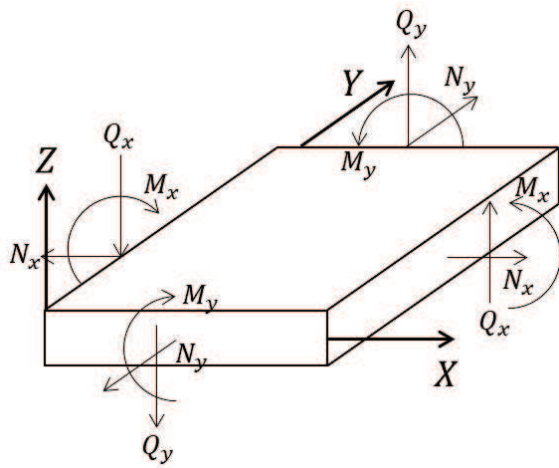


図 3-3 ソリッド要素における応力の方向



M_x, M_y : 曲げモーメント
 Q_x, Q_y : せん断力
 N_x, N_y : 軸力

図 3-4 ソリッドにおける断面力の方向

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-5 に示す。

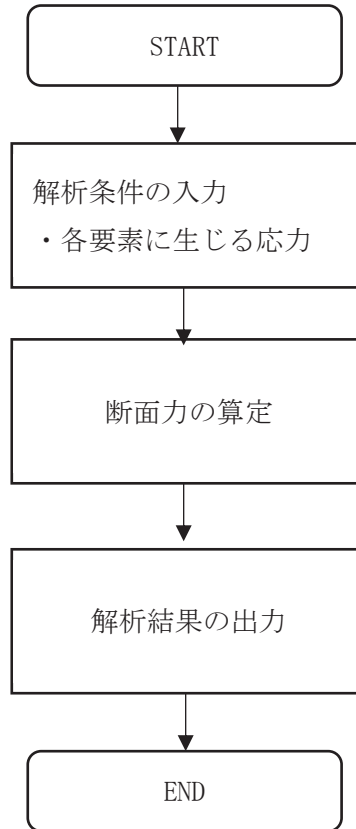


図 3-5 解析フローチャート

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

3.5.1 検証(Verification)

本解析コード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。

3.5.2 妥当性確認(Validation)

解析コード COM3 により出力された要素応力を用いて本解析コード及び理論解との比較を行う。本解析コードは、どの部材においても発生応力に対し一律に同じ式を使用して断面力を算出するため、海水ポンプ室の導流壁を代表として検証を行う。

(1) 検証箇所

海水ポンプ室の導流壁の断面図及び検証箇所を図 3-6 及び図 3-7 に示す。

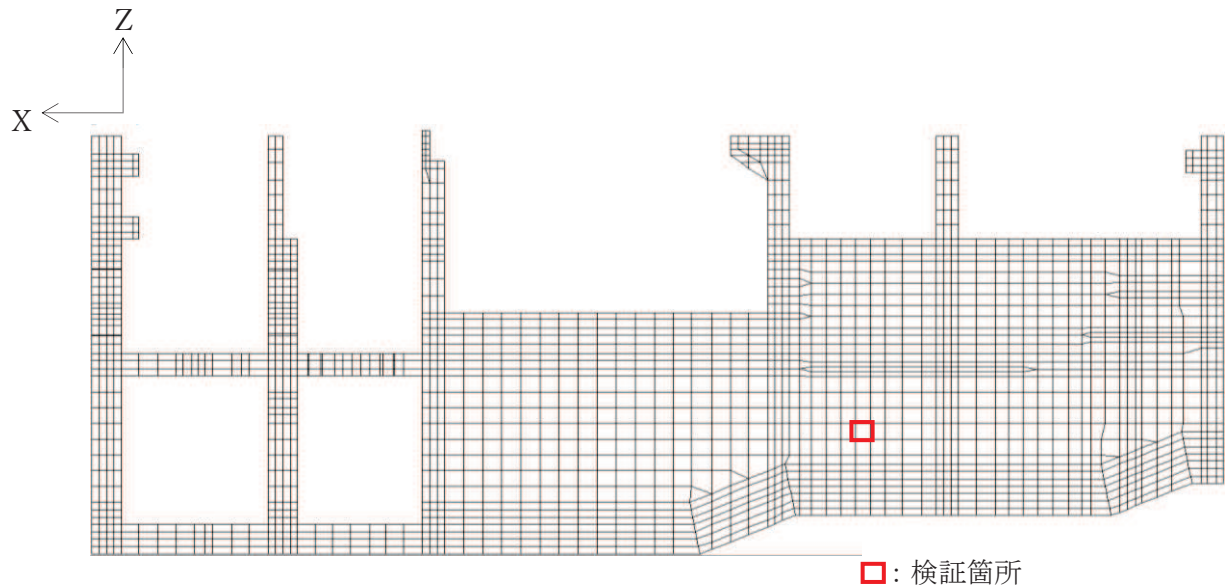
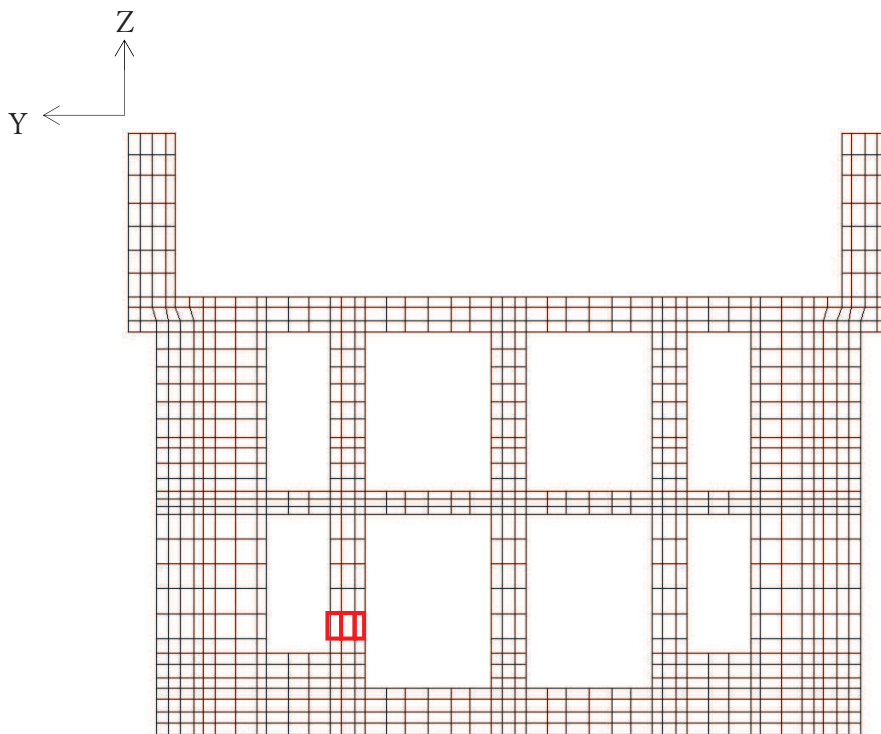


図 3-6 海水ポンプ室 縦断面図



□: 検証箇所*

注記*: 左から要素番号 1, 2 及び 3 とする。

図 3-7 海水ポンプ室 横断図

検証箇所の各要素において，解析コード COM3 により算出された 8 積分点での全体座標系の応力の平均値を式(3.1)に基づき以下に示す。

$$[\sigma_i] = \begin{bmatrix} \sigma_X & \tau_{XY} & \tau_{XZ} \\ \tau_{YX} & \sigma_Y & \tau_{YZ} \\ \tau_{ZX} & \tau_{ZY} & \sigma_Z \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$[\sigma_1] = \begin{bmatrix} 5.430 & -0.091 & -0.932 \\ -0.091 & -0.841 & 1.659 \\ -0.932 & 1.659 & 21.590 \end{bmatrix}$$

$$[\sigma_2] = \begin{bmatrix} -2.058 & -0.273 & -1.732 \\ -0.273 & -3.333 & 11.323 \\ -1.732 & 11.323 & -11.363 \end{bmatrix}$$

$$[\sigma_3] = \begin{bmatrix} -9.999 & -0.192 & -2.322 \\ -0.192 & -0.125 & 6.237 \\ -2.322 & 6.237 & -57.103 \end{bmatrix}$$

(2) 座標変換

導流壁の局所座標系を図 3-8 に示す。全体座標系で示されている要素応力を図 3-5 に基づき、局所座標系へ変換する。

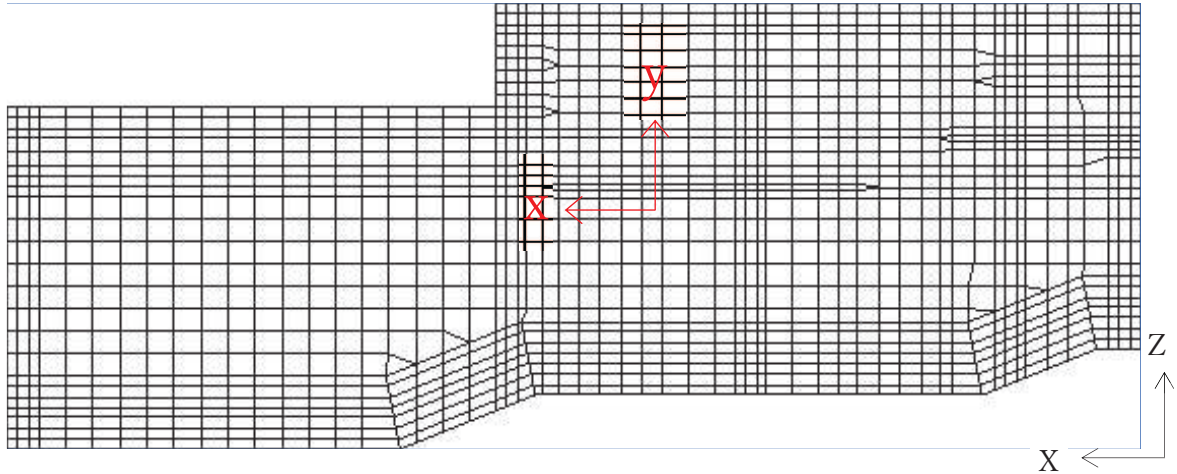


図 3-8 導流壁の局所座標系

$$[C] = \begin{bmatrix} \cos(0^\circ) & \cos(90^\circ) & \cos(90^\circ) \\ \cos(90^\circ) & \cos(90^\circ) & \cos(0^\circ) \\ \cos(90^\circ) & \cos(180^\circ) & \cos(90^\circ) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_X & \tau_{XY} & \tau_{XZ} \\ \tau_{YX} & \sigma_Y & \tau_{YZ} \\ \tau_{ZX} & \tau_{ZY} & \sigma_Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma_X & \tau_{XZ} & -\tau_{XY} \\ \tau_{ZX} & \sigma_Z & -\tau_{ZY} \\ -\tau_{YX} & -\tau_{YZ} & \sigma_Y \end{bmatrix}$$

上記より、各要素において局所座標系に変換した要素応力を以下に示す。

$$[\sigma_1] = \begin{bmatrix} 5.430 & -0.932 & 0.091 \\ -0.932 & 21.590 & -1.659 \\ 0.091 & -1.659 & -0.841 \end{bmatrix}$$

$$[\sigma_2] = \begin{bmatrix} -2.058 & -1.732 & 0.273 \\ -1.732 & -11.363 & -11.323 \\ 0.273 & -11.323 & -3.333 \end{bmatrix}$$

$$[\sigma_3] = \begin{bmatrix} -9.999 & -2.322 & 0.192 \\ -2.322 & -57.103 & -6.237 \\ 0.192 & -6.237 & -0.125 \end{bmatrix}$$

(3) 解析結果

各要素の要素厚さ、要素中心座標を表 3-1 に示す。

表 3-2 に示すとおり、本解析コードで算出した断面力は、理論解と一致することを確認した。

表 3-1 各要素の厚さと要素中心座標

要素番号	要素の厚さ (cm) * h	要素中心座標 (m)* z
1	46	0.52
2	58	0
3	46	-0.52

表 3-2 解析結果の比較

断面力	Com3EvalSh	理論解
M_x (kN·m)	-361.938	-361.938
M_y (kN·m)	-1845.93	-1845.93
N_x (kN)	-323.183	-323.183
N_y (kN)	-2248.28	-2248.28
V_x (kN)	28.3220	28.3220
V_y (kN)	-1000.17	-1000.17

3.5.3 まとめ

以上のとおり、本解析コードについては、理論解との比較を行い、解析結果が理論解と一致することを確認した。したがって、解析コード COM3 より得られる各要素の応力から断面力算定するため本解析コードを使用することは、妥当である。

4. 引用文献

- (1) 日本コンクリート工学協会鉄筋コンクリート構造の有限要素解析と設計法研究委員会，コンクリート構造物の設計に FEM 解析を適用するためのガイドライン，日本コンクリート工学協会，pp. 44～45，1989