

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0
提出年月日	2021年2月18日

VI-5-13 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ ABAQUS

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
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-1-1-6-別添 4	ブローアウトパネル関連設備の設計方針	ver. 2018
VI-1-8-1	原子炉格納施設の設計条件に関する説明書	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-2-9-3-1-1	原子炉建屋ブローアウトパネルの耐震性についての計算書	ver. 2018
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。

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

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