

令和元年度原子炉格納容器材料の損傷力学解析コードの作成及び解析  
調達仕様書

## 調達仕様書

### 1. 件名

令和元年度原子炉格納容器材料の損傷力学解析コードの作成及び解析

### 2. 目的

本事業は令和元年度安全研究プロジェクト「重大事故時の原子炉格納容器の終局的耐力評価に関する研究」の一環として、格納容器の鋼製材料の局部破損に係る損傷力学解析コードを作成するとともに、材料試験の解析を行うことを目的とする。

### 3. 実施概要

局部破損における重要な破損モードであるせん断型延性破壊を扱う損傷力学解析コードを作成し、文献事例を用いた検証解析を実施する。次に、高降伏比の材料に対する応力ひずみ線図の最適化システムを作成し、丸棒引張試験片の弾塑性解析及び損傷力学解析を実施する。さらに、延性破壊の微視的破壊機構であるボイド生成過程を追跡するための弾塑性解析を実施する。また、切欠付平板引張試験の評価のために、弾塑性解析及び損傷力学解析を実施し、三軸破壊パラメータの遷移、限界点等を求める。

### 4. 実施内容

#### 4. 1 せん断型延性破壊の損傷力学解析コードの作成

せん断型延性破壊を扱う有力な損傷力学理論の文献を調査し、コード開発のための定式化・設計を行い、損傷力学解析コードを作成する。コードの検証のために、文献の解析事例の解析を実施し、必要に応じて修正を加える。損傷力学解析コードは、汎用構造解析コード FINAS/STAR をベースにしたものとする。実施項目は下記を含むものとする。

- ① 関連文献\*1の調査（定式化のための情報抽出）
- ② 定式化及びコード設計
- ③ コード製作・汎用構造解析コードへの組み込み
- ④ 動作試験（単一要素等を用いた動作試験）
- ⑤ 検証解析（文献事例:1モデル×実行2回\*2=2ケースを見込む）

\*1) K. Nahshon, J.W. Hutchinson, Modification of the Gurson Model for shear failure, European Journal of Mechanics A/Solids 27(2008)、他、規制庁担当より指定

\*2) 試し計算を含む総実行回数を表す。以下同様。

#### 4. 2 高降伏比材料の最適化システムの作成及び解析

高降伏比の材料に対して、最適な応力ひずみ線図を求めるために、Ludwik 式に基づく最適化システムを作成し、切欠付丸棒引張試験片の弾塑性解析及び損傷力学解析を実施する。実施項目は以下を含むものとする。

- ① 最適化アルゴリズム・システムの設計
- ② 同システムの作成
- ③ 動作試験（単一要素等を用いた動作試験）
- ④ 最適化・弾塑性解析（4切欠曲率×実行2回=8ケースを見込む）
- ⑤ 損傷力学解析（同8ケースを見込む）

#### 4. 3 ボイド生成過程の弾塑性解析

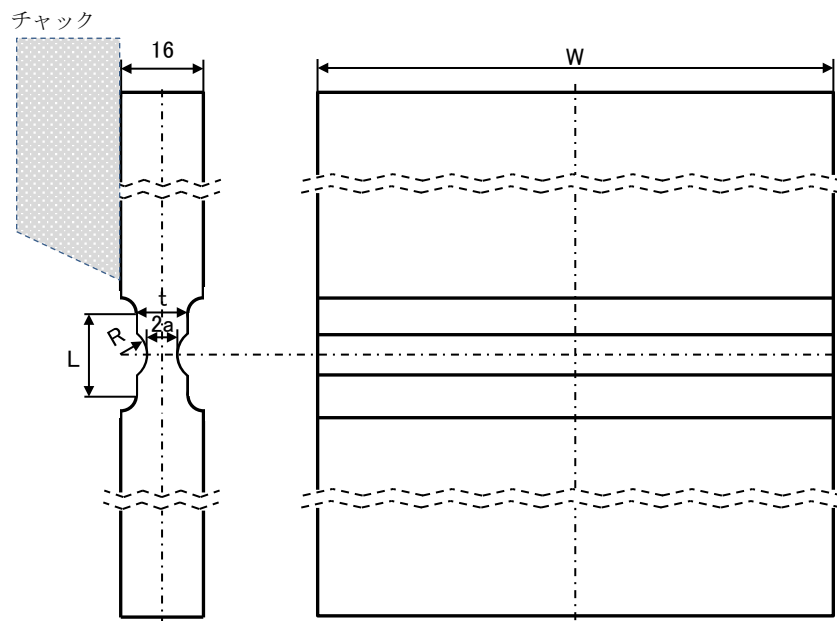
限界応力状態で、介在物から金属マトリクスが剥離し、ボイドが生成する過程を弾塑性解析により追跡する。切欠付丸棒引張試験片の試験・解析結果に基づき、延性破壊が生じる時点の試験片中心部の変形・応力状態を抽出して、軸対称 FEM のセルモデルに与える。セルモデルは、単一の球形介在物及び金属マトリクスから構成され、界面応力の限界条件を模擬した剥離層（接触要素等）を組み込む。実施項目は以下を含むものとする。

- ① 切欠付丸棒引張試験の解析結果からの境界条件（変位・応力等）の抽出（1試験片）
- ② セルモデルの作成（2モデル：異なる介在物直径）
- ③ 弾塑性解析（2モデル×実行2回=4ケースを見込む）

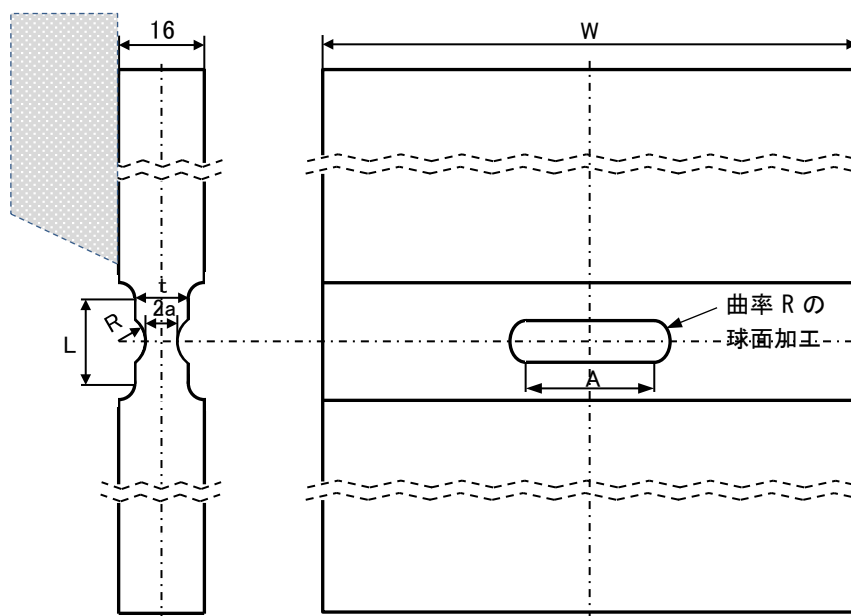
#### 4. 4 切欠付平板引張試験の弾塑性解析・損傷力学解析

切欠付平板引張試験の弾塑性解析を実施し、切欠部の応力・ひずみ、及び、三軸破壊パラメータの遷移を求める。切欠付平板引張試験片は、図 1 に示す全通切欠のもの、部分切欠のもの2種類であり、切欠曲率はそれぞれ4種類、材料は、SGV480N 鋼及び SPV490 鋼である。さらに、応力制御型ボイド生成項をもつガルソンモデルを用いて損傷力学解析を実施して、破損する限界点を求める。実施項目は以下を含むものとする。

- ① 試験片の FEM モデルを作成する（8モデル = 試験片2種類×4切欠曲率）
- ② 各材料の材料定数を用いて、弾塑性解析を実施する（2鋼種×8モデル×実行2回=32ケースを見込む）。
- ③ 弾塑性解析における、切欠底及び切欠の板厚中心における評価パラメータの遷移を整理し、限界点を求める。評価パラメータには、応力三軸度、相当ひずみ、流動応力、平均応力、破損指標、ロード角等を含むものとする。また主要なパラメータの分布に関しては Bridgman 式と比較した図を作成する。
- ④ 同じ FEM モデルを用いて、損傷力学解析を実施する（2鋼種×8モデル×実行2回=32ケースを見込む）。
- ⑤ 損傷力学解析における切欠底及び切欠の板厚中心における評価パラメータの遷移を整理し、限界点を求める。評価パラメータには、ボイド率と共に、三軸破壊パラメータを含む。



a) 全通切欠付平板引張試験片



b) 部分切欠付平板引張試験片

$A=24, 2a = 6, t = 10, L = 16, W = 100, R = 1, 2, 5, 15$  (単位 mm)

図1 切欠付平板引張試験片の形状・寸法

#### 4. 5 技術資料の作成

成果報告書及び資料集をまとめる。

- 1) 成果報告書 (本冊)
- 2) 資料集

- ・ メッシュ、出力図面等の図面集
- ・ 検証記録
- ・ 文献等

なお、4.1項から4.4項までの実施項目の詳細は、原子力規制庁担当と受注者の協議によって、変更する場合がある。

## 5. 実施期間

契約締結日から令和2年3月23日まで

## 6. 作業工程

実施期間における各実施項目の概略工程（例）を以下に示す。受注者は、業務開始時に、実施計画を示すものとする。

実施項目	令和元年		令和2年
	6月～9月	10月～12月	1月～3月
1) せん断型延性破壊の損傷力学解析コードの作成		—————	
2) 高降伏比材料の最適化システムの作成及び解析		—————	
3) ボイド生成過程の弾塑性解析			—————
4) 切欠付平板引張試験の弾塑性解析・損傷力学解析			—————
5) 技術資料の作成			—————

## 7. 作業場所

受注者の作業場所で作業するものとし、定期的に作業進捗報告を行う。  
 （作業進捗報告の日程等は作業開始時に原子力規制庁と協議する。）

## 8. 実施責任者及び実施体制

受注者は、実施責任者及び品質管理体制を明示した実施体制表を提出すること。  
 あらかじめ下請負者が決まっている場合は、下請負者名及びその発注業務内容を含めて記載すること。ただし、金50万円未満の下請負業務、印刷費、会場借料、翻訳費及びその他これに類するものを除く。

実施責任者は本作業の遂行にあたり十分な実務能力及びマネジメント能力を有し、本作業を統括する立場にある者とする。

実施体制には必ず本件に精通した経験豊富なスタッフを含めること。また、2人以上の直接の担当者を定め、一方が出張などの時にも支障なく業務が遂行できるようにすること。

## 9. 提出書類及び納入品目

### (1) 提出書類

受注者が原子力規制庁の承認を受けるため、又は原子力規制庁に報告するために提出する書類、提出部数、提出期日は、次のとおりとする。

	提出書類	提出部数	提出期日
1	実施体制表	1	契約締結後1週間以内、変更時は改訂版を速やかに提出すること
2	実施計画書	1	契約締結後1週間以内
3	下請負届	1	契約締結後1週間以内 該当しない場合は省略できる。
4	品質計画書 <sup>(注1)</sup>	1	契約締結後1週間以内に提出し、原子力規制庁の承認を受けること。
5	情報セキュリティ管理説明書	1	契約締結後1週間以内に提出し、原子力規制庁の承認を受けること。
6	打合せ議事録	1	打合せ後1週間以内
7	月報	1	翌月10日まで(3月は納入時まで)
8	成果報告書 <sup>(注2)(注3)</sup>	8+2(電子媒体) 1(ハードコピー)	納入時
9	情報セキュリティ管理報告書	1	納入時
10	完了届	1	納入時

注1) 品質計画書の品質要求事項は7. によるものとする。

注2) 成果報告書の本冊を、電子情報媒体にて8部提出すること(PDF形式)。また、検収時の内容確認用にハードコピーを1部提出すること。

注3) 成果報告書の本冊に加え、以下の内容を格納した電子情報媒体を2部提出すること。

- ・ 解析計画等の中間成果物(PDF及びMS-WORD形式)
- ・ 資料集(調査文献、図面、図表等の補足資料、PDF及びMS-WORD形式)
- ・ 上記1から6及び8の提出書類(PDF形式)
- ・ 作表、作図に用いたMS-EXCEL等のファイル
- ・ 破損評価等の後処理プログラム(MS-EXCEL等)
- ・ 解析に使用した入力データ
- ・ 検討したソースコード  
等

なお、ファイル名は報告書記載内容と対応付けた分かりやすいものとし、適宜説明を加えること。

### (2) 納入品目及び納入場所

(a) 納入品目：(1) に定める提出書類

(b) 納入場所：原子力規制委員会原子力規制庁長官官房技術基盤グループシステム安全研究部門

東京都港区六本木1-9-9 六本木ファーストビル 15F

## 10. 品質計画書

品質計画書には最小限、以下の内容を記載すること。

### (1) 品質管理体制

受注業務に対する品質を確保するための、十分な体制が構築されていること。

- ・作業実施部署は品質管理部署と独立していること。
- ・実施責任体制が明確となっていること（実施責任者と品質管理責任者は兼務しないこと）。

### (2) 品質管理の具体的な方策

受注業務に対して品質を確保するための、当該業務に対応した具体的な作業に関する方法（チェック時期及びチェック内容）が明確にされていること。

### (3) 担当者の技術能力

業務に従事する者の技術能力を明確にすること。

## 11. 検収条件

本仕様書に記載の内容を満足し、9.に記載の提出書類が全て提出されていることが確認されたことをもって検収とする。

## 10. 情報セキュリティの確保

受注者（請負者）は、以下の点に留意して情報セキュリティを確保するものとする。

- (1) 受注者は、請負業務の開始時に、請負業務に係る情報セキュリティ対策とその実施方法及び管理体制について原子力規制庁担当者に書面で提出すること。
- (2) 受注者は、原子力規制庁担当者から要機密情報を提供された場合には、当該情報の機密性を格付けに応じて適切に取り扱うための措置を講じること。
- (3) また、本業務において受託者が作成する情報については、原子力規制庁担当者からの指示に応じて適切に取り扱うこと。
- (4) 受注者は、原子力規制委員会情報セキュリティポリシーに準拠した情報セキュリティ対策の履行が不十分と見なされるとき又は受注者において請負業務に係る情報セキュリティ事故が発生したときは、必要に応じて原子力規制庁担当者の行う情報セキュリティ対策に関する監査を受け入れること。
- (5) 受注者は、原子力規制庁担当者から提供された要機密情報が業務終了等により不要になった場合には、確実に返却し又は廃棄すること。  
また、請負業務において受注者が作成した情報についても、原子力規制庁担当者からの指示に応じて適切に廃棄すること。
- (6) 受注者は、本業務の終了時に、業務で実施した情報セキュリティ対策を報告すること。

(参考) 原子力規制委員会情報セキュリティポリシー

<https://www.nsr.go.jp/data/000129977.pdf>

## 1 1. 業務の引継ぎ

### (1) 用語の定義

- ア 前回の受注者：前回の業務を請負った業者
- イ 受注者：本仕様書に基づく入札で落札した業者
- ウ 次回の受注者：本仕様書に基づく受注者の契約終了後の入札で落札した業者

### (2) 前回の受注者からの引継ぎ

原子力規制庁は、当該引継ぎが円滑に実施されるよう、前回の受注者及び受注者に対して必要な措置を講ずるとともに、引継ぎが完了したことを確認する。

本業務を新たに実施することとなった受注者は、本業務の開始までに、業務内容を明らかにした書類等により、前回の事業者から業務の引継ぎを受けるものとする。

なお、その際の事務引継ぎに必要となる経費は、前回の受注者の負担となる。ただし、資材の搬出費等の直接経費が発生する場合は、受注者が負担するものとする。

### (3) 本業務終了の際に受注者の変更が生じた場合の引継ぎ

原子力規制庁は、当該引継ぎが円滑に実施されるよう、受注者及び次回の受注者に対して必要な措置を講ずるとともに、引継ぎが完了したことを確認する。

本業務の終了に伴い受注者に変更になる場合には、受注者は次回の受注者の当該業務の開始日までに、業務内容を明らかにした書類により、次回の受注者に対し、引継ぎを行うものとする。

なお、その際の事務引継ぎに必要となる経費は、受注者の負担となる。

## 1 2. その他

- (1) 受注者は、本仕様書に疑義が生じたとき、本仕様書により難い事由が生じたとき、あるいは本仕様書に記載のない細部については、原子力規制庁担当者と速やかに協議し、その指示に従うこと。
- (2) 受注者は、本業務において納入する全ての成果物について、瑕疵担保責任を負うものとする。瑕疵担保責任期間は当庁により検収後1年間とする。
- (3) 作業実施者は、原子力規制庁担当者と日本語で円滑なコミュニケーションが可能で、かつ良好な関係が保てること。
- (4) 業務上不明な事項が生じた場合は、原子力規制庁担当者に確認の上、その指示に従うこと。
- (5) 常に、原子力規制庁担当者との緊密な連絡・協力関係の保持及び十分な支援を提供すること。
- (6) 本調達において納品される成果物の著作権は、検収合格が完了した時点で、当庁に移転する。受注者は、成果物の作成に当たり、第三者の工業所有権又はノウハウを実施・使用するときは、その実施・使用に対する一切の責任を負う。
- (7) 成果物納入後に受注者の責めによる不備が発見された場合には、受注者は、無償で速やかに必要な措置を講ずること。

(以上)