

令和 2 年度原子炉格納容器の局部破損解析手法の  
検討及び要素試験の解析

調達仕様書

## 調達仕様書

### 1. 件名

令和2年度原子炉格納容器の局部破損解析手法の検討及び要素試験の解析

### 2. 実施概要

本業務は、令和2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、鋼製部材に対する局部破損に係る解析手法の検討及び要素試験の解析等を行うものである。まず、局部破損の解析法である損傷力学解析法について、せん断型の延性破壊の理論・解析事例等の調査・検討を実施する。次に、令和元年度までに作成した損傷力学解析コードに対して、ボイド生成モデルの修正を行い、切欠付丸棒・平板試験片等の引張試験の弾塑性・損傷力学解析を実施する。さらに、介在物を含むセルモデルの弾塑性解析を実施して、剥離条件等の整理を行う。

### 3. 実施内容

#### 3.1 局部破損解析法等の調査・検討

局部破損の評価に適用可能な損傷力学モデルの理論、適用例及び損傷パラメータ取得に係る試験方法等に関する調査・検討を行う。主な課題は以下のとおりとする。

- ・ せん断型延性破壊における破壊プロセス
- ・ せん断型延性破壊の損傷パラメータ取得に係る試験方法
- ・ 延性損傷に係わる Lemaitre のモデルの適用と課題

上記課題について、関連の文献を調査するとともに、理論、有限要素法コードへの実装方法、解析例等の情報を含む技術報告をまとめる。なお、調査報告に当たって、未発表・非公開等の情報を含む場合には、その部分を明記すること。本事業の報告書(国会図書館納本分)において、当該部分を非開示とする予定。

#### 3.2 損傷力学コードへの修正型ボイド生成モデルの組み込み

R01年度までに作成した損傷力学解析コード\*1に、平均応力の補正項\*2をもった修正型ボイド生成項を組み込む。実施項目は下記を含むものとする。

- ① コード改修に係わる設計・定式化
- ② コード改修・動作試験

\*1) 汎用構造解析コード FINAS/STAR に、指定の損傷力学モデルを導入したもの。

\*2) 以下の文献に準拠したもの:A. Needleman, "A Continuum Model for Void Nucleation by Inclusion Debonding," Journal of Applied Mechanics, vol. 54, pp. 525-531, 1987.

### 3.3 修正型ボイド生成モデルによる切欠付丸棒試験片の損傷力学解析

H30年度の切欠付丸棒引張試験に対して、修正型ボイド生成項を組み込んだコードにより損傷力学解析を実施する。対象とする材料は、SGV480 鋼及び SPV490 鋼の 2 種類、試験片は各 3 種類の計 6 種類とする。実施項目は下記を含むものとする。

- ① 軸対称 FEM モデルの作成:通常メッシュの 3 モデル及び細密メッシュの 1 モデルの計 4 モデルを作成
- ② 通常メッシュのモデルを用いて、損傷力学解析を実施し、補正係数ほかの損傷力学パラメータを最適化する。
- ③ 細密メッシュのモデルを用いて、特にシェアリップの形成過程に着目した損傷力学解析を実施する。
- ④ 評価図表の作成:材料ごとに評価結果をまとめて図化する。

基本ケースとして以下の解析ケース数を見込む。最適化の度合いによっては、協議により若干数増加させる場合がある。

- ・ 解析ケース(通常メッシュ) = 6 モデル × 3 補正係数 = 18 ケース
- ・ 解析ケース(細密メッシュ) = 2 モデル × 2 補正係数 = 4 ケース 計 22 ケース

### 3.4 修正型ボイド生成モデルによる弾塑性破壊靱性試験の損傷力学解析

H30年度の弾塑性破壊靱性試験に対して、修正型ボイド生成項を組み込んだコードにより損傷力学解析を実施する。対象とする試験片は、SGV480N 鋼及び SPV490 鋼のサイド溝あり・なしの CT 試験片、計 4 種類とする。実施項目は下記を含むものとする。

- ① 切欠付丸棒試験片に用いた補正係数を用いて、損傷力学解析を実施する。
- ② 亀裂進展量、J-R カーブ等の試験結果と比較し、補正係数ほかの損傷力学パラメータを調整し、最適な解析結果を得る。
- ③ 評価図表の作成:材料ごとに評価結果をまとめて図化する。

基本ケースとして以下の解析ケース数を見込む。最適化の度合いによっては、協議により若干数増加させる場合がある。

- ・ 解析ケース数 = 4 モデル × 2 補正係数等 = 8 ケース

なお、以下の解析では、すべて修正した損傷力学コードを用いるものとする。

### 3.5 損傷力学コードのベンチマーク解析

損傷力学コードに対して、非対称剛性マトリクスソルバーの特性評価のためのベンチマーク解析を実施する。ベンチマーク解析では、非対称性の影響が出やすい高ボイド体積率の問題

を設定し、大学等の他者コードと解析結果を比較する。実施項目は下記を含むものとする。

- ① GT モデルの非対称マトリクスの定式及び解法の詳細な表記
- ② 切欠丸棒試験片等のベンチマーク向け解析の実施。次の解析ケースを見込む  
解析ケース数=解析コード 2×2 モデル=4 ケース
- ③ 結果の分析:両コードの差異、非対称性の影響が顕著になる場合の解析条件等

### 3.6 切欠付丸棒試験片のセルモデル解析

介在物から金属マトリクスが剥離し、ポイドが生成する過程を、セルモデルを用いた弾塑性解析により追跡する。切欠付丸棒引張試験片の解析結果等に基づき、評価対象部の応力・ひずみ履歴を抽出し、軸対称 FEM のセルモデルに与える。実施項目は下記を含むものとする。

- ① 解析結果からの境界条件(変位・応力等)の抽出
- ② 軸対称セルモデルの作成(1 モデル)
- ③ 弾塑性解析の実施。なお、仮想負荷条件として、試験を越える高応力三軸度を指定した比例負荷の解析ケースを含むものとする。
- ④ 評価マップの作成:真ひずみ・最大法線応力・応力三軸度等の組み合わせマップ

基本ケースとして以下の解析ケース数を見込む。最適化の度合いによっては、協議により若干数増加させる場合がある。

- ・ H30 年度 SPV490 鋼試験片 (3 試験片+2 仮想条件=5 ケース)
- ・ H30 年度 SGV480 鋼試験片 (3 試験片+2 仮想条件=5 ケース)
- ・ R01 年度 SPV490 鋼試験片 (4 試験片+1 仮想条件=5 ケース)
- ・ R01 年度 SGV480 鋼試験片 (4 試験片+1 仮想条件=5 ケース)

計 20 ケース

### 3.7 全通切欠付平板試験片のセルモデル解析

前節と同じく、全通切欠付平板試験片の試験・解析結果等から、評価対象部の応力・ひずみ履歴を抽出し、3次元のセルモデルに与える。次の解析ケースを見込む。実施項目は下記を含むものとする。

- ① 解析結果からの境界条件(変位・応力等)の抽出
- ② 3次元セルモデルの作成(1 モデル)
- ③ 弾塑性解析の実施、なお、仮想負荷条件として、試験を越える高応力三軸度を指定した比例負荷の解析ケースを含むものとする。
- ④ 評価マップの作成:真ひずみ・最大法線応力・応力三軸度等の組み合わせマップ

基本ケースとして以下の解析ケース数を見込む。最適化の度合いによっては、協議により若干数増加させる場合がある。

- ・ R01 年度 SPV490 鋼試験片 (4 試験片+1 仮想条件=5 ケース)
- ・ R01 年度 SGV480 鋼試験片 (4 試験片+1 仮想条件=5 ケース)

計 10 ケース

### 3.8 R01 年度切欠付丸棒試験片の弾塑性・損傷力学解析

切欠付丸棒引張試験に対して、弾塑性解析及び損傷力学解析を実施する。対象とする材料は、SGV480(34t)、SPV490(34t)、SGV480(16t)、SGV410(16t)、及び SUS304L(12t)の 5 種類として、試験片種類は各 4 種類、計 20 種類とする。実施項目は下記を含むものとする。

- ① 軸対称 FEM モデルの作成:通常メッシュの 4 モデル及び細密メッシュの 2 モデルを作成する。
- ② 通常メッシュのモデルを用いて、弾塑性解析を実施して、材料定数を最適化する。
- ③ 通常メッシュのモデルを用いて、損傷力学解析を実施し、補正係数ほかの損傷力学パラメータを最適化する。
- ④ 細密メッシュのモデルを用いて、特にシェアリップの形成過程に着目した損傷力学解析を実施する。
- ⑤ 評価図表の作成:材料ごとに評価結果をまとめて図化する。

基本ケースとして以下の解析ケース数を見込む。最適化の度合いによっては、協議により若干数増加させる場合がある。

- ・ 解析ケース(通常メッシュ)=5 材料×4 モデル×2 補正係数 =40 ケース
- ・ 解析ケース(細密メッシュ)=2 材料×2 モデル×2 補正係数 = 8 ケース

計 48 ケース

### 3.9 R01 年度全通切欠付平板試験片の弾塑性・損傷力学解析

全通切欠付平板引張試験に対して、弾塑性解析及び損傷力学解析を実施する。対象とする材料は、SGV480(34t)、SPV490(34t)、SGV480(16t)、SGV410(16t)、及び SUS304L(12t)の 5 種類として、試験片種類は各 4 種類、計 20 種類とする。実施項目は下記を含むものとする。

- ① 3次元 FEM モデルの作成:4 モデルを作成
- ② 弾塑性解析を実施して、材料定数を最適化する。最適値は、切欠付丸棒試験片の最適値と比較して協議の上、決定する。
- ③ 損傷力学解析を実施して、補正係数ほかの損傷力学パラメータを最適化する。
- ④ 評価図表の作成:材料ごとに評価結果をまとめて図化する。

基本ケースとして以下の解析ケース数を見込む。最適化の度合いによっては、協議により若干数増加させる場合がある。

- ・ 解析ケース=5 材料×4 モデル×2 補正係数 =40 ケース

### 3.10 R01 年度部分切欠付平板試験片の弾塑性解析

部分切欠付平板引張試験片に対して、弾塑性解析を実施する。対象とする材料は、SGV480(34t)、SPV490(34t)、SGV480(16t)、SGV410(16t)、及び SUS304L(12t)の 5 種類として、試験片種類は各 4 種類、計 20 種類とする。実施項目は下記を含むものとする。

- ① 3次元 FEM モデルの作成:4 モデルを作成
- ② 弾塑性解析を実施して、材料定数を最適化する。最適値は、切欠付丸棒試験片の最適値と比較して協議の上、決定する。
- ③ 評価図表の作成:材料ごとに評価結果をまとめて図化する。

基本ケースとして以下の解析ケース数を見込む。最適化の度合いによっては、協議により若干数増加させる場合がある。

- ・ 解析ケース=5 材料×4 モデル =20 ケース

### 3.11 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
- 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、3.1 項から 3.12 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。

## 4. 作業工程

実施期間における各実施項目の作業工程(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。

[作業工程](例)

実施項目	令和 2 年			令和 3 年
	4 月～6 月	7 月～9 月	10 月～12 月	1 月～3 月
3.1 局部破損解析法等の調査・検討		—————		

3.2 損傷力学コードへの修正型ボイド生成モデルの組み込み		=====		
3.3 修正型ボイド生成モデルによる切欠丸棒試験片の損傷力学解析		=====		
3.4 修正型ボイド生成モデルによる弾塑性破壊靱性試験の損傷力学解析		=====		
3.5 損傷力学コードのベンチマーク解析			=====	
3.6 切欠付丸棒試験片のセルモデル解析		=====		
3.7 全通切欠付平板試験片のセルモデル解析			=====	
3.8 R01 年度切欠付丸棒試験片の弾塑性・損傷力学解析			=====	
3.9 R01 年度全通切欠付平板試験片の弾塑性・損傷力学解析			=====	
3.10 R01 年度部分切欠付平板試験片の弾塑性解析			=====	
3.11 技術資料の作成				=====

5. 業務実施期間

契約締結日から令和3年3月25日まで

6. 実施場所

受注者の作業場所で作業するものとする。

7. 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。

## 8. 提出書類及び納入品目

### (1) 提出書類

受注者が規制庁の承認を受けるため、又は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。

No.	提出書類	提出部数	提出期日
1	実施体制表	1	契約締結後速やかに 変更時は改訂版を速やかに提出すること
2	下請負届	1	
3	品質計画書 <sup>(注1)</sup>	1	
4	情報セキュリティ管理説明書 <sup>(注2)</sup>	1	
5	打合せ議事録	1	打合せ後1週間以内
6	月報	1	翌月10日まで(3月は納入時まで)
7	成果報告書 <sup>(注3)</sup>	8(DVD)+1(紙)	納入時
8	資料集 <sup>(注4)</sup>	2(DVD)	
9	情報セキュリティ管理報告書	1	
10	完了届	1	

注1) 品質計画書の品質要求事項は9.によるものとする。

注2) 情報セキュリティ管理説明書は10.によるものとする。

注3) 成果報告書の本冊を、DVDディスクにて8部提出すること(PDF、国会図書館提出用、ラベル形式指定)。また、検収時の内容確認用にハードコピー(紙)を1部提出すること。

注4) 資料集をDVDディスクにて2部提出すること。資料集には以下のファイルを含むこと。

- ・ 提出書類一式(#1～7、#9、PDF)
- ・ 本冊のWordファイル、図表作成に用いたEXCELファイル
- ・ 補足資料(本冊に含まない補足情報:文献等、PDF)
- ・ 中間成果物(計画書、中間報告書等、PDF)
- ・ 入力データ
- ・ ソースコード(作成分) 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。本冊に、受注者の商業機密に当たる記載内容が含まれる場合は、該当箇所を明記すること。



(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

9. 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。

(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。

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規制庁担当者に書面で提出すること。
- (2) 受注者は、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、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、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、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>

## 11. 業務の引継ぎ

### (1) 用語の定義

ア 前回の受注者:前回の業務を請け負った業者

イ 現受注者:本仕様書に基づく業務を請け負った業者

ウ 次回の受注者:次回の業務を請け負った業者

### (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、前回の受注者及び現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現受注者は、本業務の開始までに、前回の受注者から、業務内容を明らかにした書類等により、業務の引継ぎを受けるものとする。なお、その際の業務の引継ぎに必要となる事務経費は、前回の受注者の負担とする。ただし、資材の搬出費等の直接経費が発生する場合には、現受注者が負担するものとする。

### (3) 本業務終了の後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、現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。

本業務の終了の後に、受注者に変更になる場合には、現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事務経費は、現受注者の負担となる。

## 12. 無償貸与物等

### (1) 特になし

### (2) その他、本作業を実施するに際し、規制庁が必要と認めたもの

なお、無償貸付品は、当該作業で不要となった後、速やかに返却すること。また、複製等も含め受注者側に一切の情報を残さないこと。また、作業期間中は、これらの情報を外部等へ漏えいしないこと。

## 13. 著作権等の扱い

(1) 成果物に関する著作権、著作隣接権、商標権、商品化権、意匠権及び所有権(以下「著作権等」という。)は、原子力規制委員会が保有するものとする。

(2) 請負者は自ら制作・作成した著作物に対し、いかなる場合も著作者人格権を行使しないものとする。

(3) 成果物に含まれる請負者又は第三者が権利を有する著作物等(以下「既存著作物」という。)の著作権等は、個々の著作者等に帰属するものとする。

- (4) 納入される成果物に既存著作物等が含まれる場合には、請負者が当該既存著作物の使用に必要な費用の負担及び使用許諾契約等に係る一切の手続を行うものとする。

#### 14. 検収条件

本仕様書に記載の内容を満足し、納入品目がすべ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。

#### 15. 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、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、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、規制庁担当者に確認の上、その指示に従うこと。
- (5) 常に、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)