

ワイブル応力算出ツールの改良
仕 様 書

1. 一般仕様

1.1. 件名

「ワイブル応力算出ツールの改良」

1.2. 目的及び概要

原子炉圧力容器の健全性評価は、小型の破壊靱性試験片を用いた試験で得られる破壊靱性値に基づき行われる。一方、圧力容器と破壊靱性試験片では塑性拘束が異なることから、塑性拘束の影響を考慮した健全性評価手法の整備が進められている。

日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という）では、塑性拘束の影響を考慮した破壊評価を可能にする手法として、最弱リンク理論に基づくワイブル応力を用いた破壊評価手法に着目した研究開発を進めている。本作業では、原子力機構が所有するワイブル応力算出ツール及び関連するワイブルパラメータ算出ツールの改良を行う。

1.3. 契約範囲

1.3.1. 契約範囲内

- 1) ワイブル応力算出ツールの改良
- 2) ワイブルパラメータ算出ツールの改良
- 3) 1) 及び 2) で改良した各ツールの検証
- 4) 報告書の作成

1.3.2. 契約範囲外

なし

1.4. 納期

令和 6 年 10 月 31 日（木）

1.5. 納入場所及び納入条件

1.5.1. 納入場所

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究センター 経年劣化研究グループ
(原子力科学研究所 安全研究棟 西 317 号室)

1.5.2. 納入条件

持込渡し、郵送等

1.6. 検収条件

1.7 で定める提出物が全て納入され、その内容が本仕様書の記載事項に合致していることを原子力機構が確認した時をもって、検収合格とする。

1.7. 提出物

	提出物名	確認の可否	提出時期	提出数
1	作業報告書*	不要	納入時	1部
2	ソースコード及び実行モジュール、解析に使用したデータ類及び結果ファイル	不要	納入時	1式
3	1及び2を格納した電子媒体（CD-R等）	不要	納入時	1式
4	その他必要書類	不要	適宜	必要部数

※報告書はワードプロセッサ（MS Word）形式、A4サイズを原則とし、図表等はA3サイズの折込も可とする。

（提出場所）

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究センター 経年劣化研究グループ
（原子力科学研究所 安全研究棟 西 319 号室）

1.8. 貸与品

本作業の実施にあたり、受注者にワイブルパラメータ算出ツール、ワイブル応力算出ツール及びそれらの使用手引、ツールの検証に用いるデータセット、また打合わせ等により必要と認められる原子力機構保有の図書、書類等を無償で貸与する。なお、受注者はこれら貸与品を本作業の実施以外の目的には使用せず、また、本作業終了時には、速やかに原子力機構に返却すること。各ツールに関する基本情報は以下の通り。

(1) ワイブル応力算出ツール

言語：C#

動作環境：Microsoft .NET Framework 4.5 がインストールされている Windows 環境

(2) ワイブルパラメータ算出ツール

言語：C#

動作環境：Microsoft .NET Framework 4.5 がインストールされている Windows 環境

1.9. 機密保持

受注者及び作業担当者は、本作業に関する情報を第3者に漏らしてはならない。

1.10. グリーン購入法の推進

- (1) 本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、OA機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様に定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

1.11. 協議

本作業を円滑に遂行するため、必要に応じて協議・打合せするものとする。この協議・打合せの主要な内容は議事録として、打合せ後の2週間以内に提出すること。また、本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、原子力機構と協議の上、その決定に従うものとする。

1.12. 特記事項

1.12.1. 成果物の帰属等

この業務により作成された目的物に係わる著作権その他この目的物の使用、収益及び処分（複製、翻訳、翻案、変更、譲渡 貸与及び二次的著作物の利用を含む）に関する一切の権利は原子力機構に帰属するものとする。

1.12.2. 成果物の公開

受注者は業務を実施することにより取得した当該業務及び作業に関する各データ、技術情報、成果その他の全ての資料及び情報を当機構の施設外に持ち出して発表もしくは公開し、または特定の第三者に対価を受け、もしくは無償で提供することはできない。ただし、あらかじめ書面により機構の承認を受けた場合はこの限りではない。

1.12.3. 権利義務の継承

受注者は、合併又は分割等により本契約に係る権利義務を他社へ承継しようとする場合には、事前に原子力機構（契約請求元）へ照会し、了解を得るものとする。

1.13. 検査員

(1) 一般検査 管財担当課長

2. 技術仕様

2.1. ワイブル応力算出ツールの改良

2.1.1. 応力の時刻歴を考慮した算出方法の追加

ワイブル応力算出ツールは、式(1)を用いてワイブル応力を算出する。

$$\sigma_{w,i} = \left(\int_V \sigma_{eff,ij}^m \frac{dV_{ij}}{V_0} \right)^{1/m} \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_{eff,ij}$ は有効応力であり、第一主応力または静水圧応力が代入される。 dV_{ij} は要素体積、 V_0 は任意の基本体積、 m はワイブル形状母数である。添え字 i はインクリメント数、添え字 j は要素番号を意味する。 $\sigma_{eff,ij}$ 及び dV_{ij} は、有限要素解析により出力された.rep ファイルより数値データを読み込み、入力値とする。

現状のワイブル応力算出ツールでは、有限要素解析から出力された各インクリメントの $\sigma_{eff,ij}$ を用いる。本改良では、低インクリメントから順次ワイブル応力を計算する場合において、インクリメント i までに各要素が経験した $\sigma_{eff,ij}$ の最大値 ($\sigma_{eff,Max,j}$) を記憶し、式(1)の $\sigma_{eff,ij}$ に代入されるように改良する。つまり、以降のインクリメントにおけるワイブル応力算出では、 $\sigma_{eff,ij}$ が $\sigma_{eff,Max,j}$ を上回らない場合、前インクリメントでの $\sigma_{eff,Max,j}$ を用いてワイブル応力を算出する。逆に $\sigma_{eff,ij}$ が $\sigma_{eff,Max,j}$ を上回った場合には、 $\sigma_{eff,Max,j}$ をそのインクリメントでの $\sigma_{eff,ij}$ に更新した後、計算を続行する。本計算手順のフローを図 1 に示す。なお、従来の計算手順についても入力ファイルのオプション設定により選択できるようにすること。従来の計算手順を用いる場合にはコマンド”CURRENT”、改良後の計算手順を用いる場合にはコマンド”HISTORY”のように指定する。

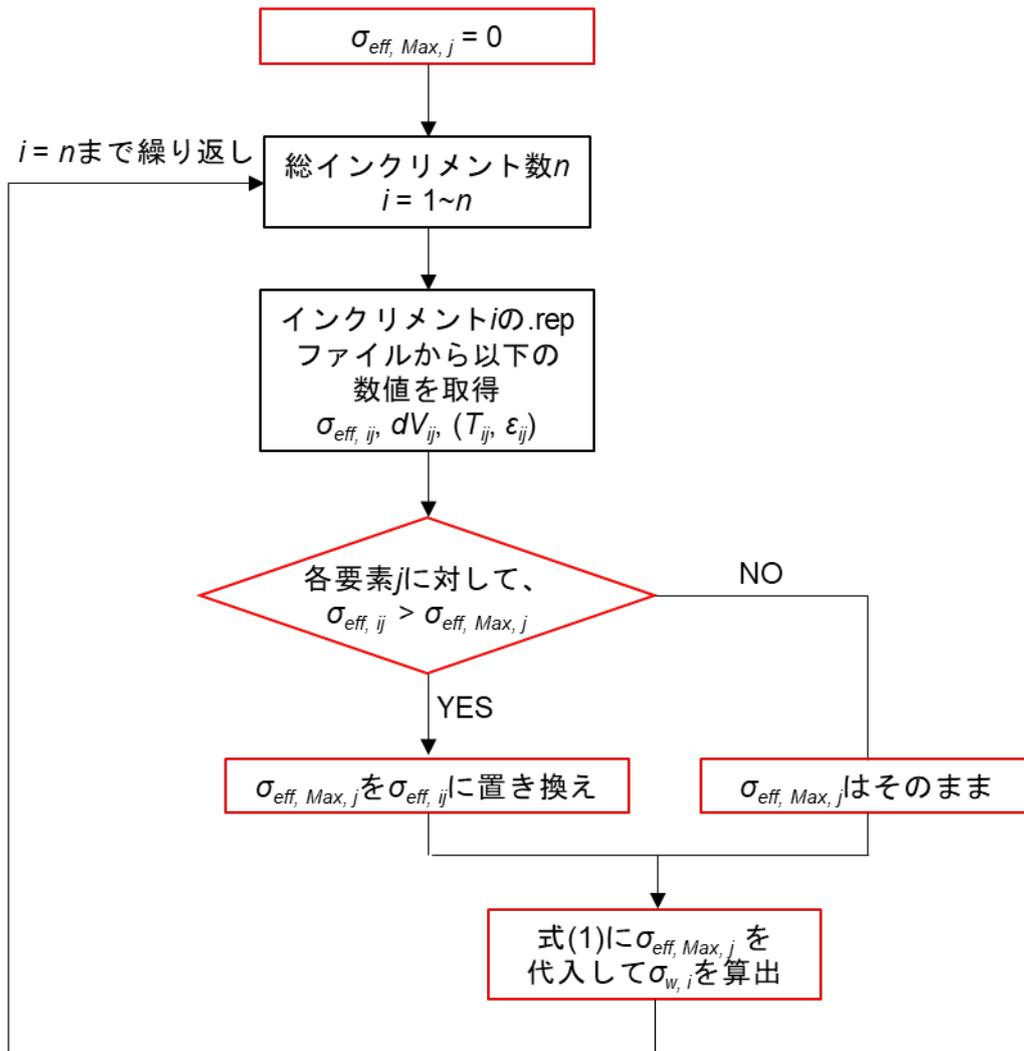
式(1)は、ひずみや温度依存性を考慮しない場合の式であるが、同ソフトにはこれらを考慮した算出式（詳細は貸与するマニュアルを参照すること）も実装されているため、同様の計算ができるように改良すること。

2.1.2. ワイブル応力算出に用いる応力閾値条件の追加

ワイブル応力算出ツールでは、算出式に代入する応力値に閾値を設定することによって、算出に使用する要素の選択を行っている。現状、この応力閾値の判定対象として第一主応力、第二主応力、第三主応力を選択できるようにしている。これに対して、本改良では、ミーゼス応力及び静水圧応力を選択できるようにオプションの追加を行う。

2.1.3. プロセスゾーン設定方法の改良

現状のワイブル応力算出ツールでは、ワイブル応力を算出するための要素を選択するため、2.1.2 に示す応力閾値で判定する方法と要素の座標で判定する方法の 2 種類を採用している。本改良では、これらの方法を組み合わせて要素選択ができるようにする。



※赤枠は、本改良で追加・変更する処理

記号の意味
 n : 総インクリメント数
 i : インクリメント
 j : 要素番号
 $\sigma_{eff, ij}$: インクリメント i 、要素番号 j の有効応力
 (第一主応力 or 静水圧応力を選択)
 dV_{ij} : インクリメント i 、要素番号 j の要素体積
 ϵ_{ij} : インクリメント i 、要素番号 j のひずみ (オプション)
 T_{ij} : インクリメント i 、要素番号 j の温度 (オプション)
 $\sigma_{eff, Max, j}$: 要素番号 j がインクリメント $1 \sim i$ までに経験した有効応力の最大値

図 1 有効応力最大値の履歴を考慮したワイブル応力の算出フロー

2.2. ワイブルパラメータ算出ツールの改良

ワイブルパラメータ算出ツールでは、ワイブル応力算出ツールでの計算条件を指定し、そのインプットファイルを生成する機能を有している。本改良では、2.1 に記載したワイブル応力算出ツールの改良に対応するように、ワイブルパラメータ算出ツールにおける計算条件設定のための GUI の改良を行うとともに、インプットファイルを生成できるようにする。なお、ワイブルパラメータ算出ツールには、単一試験片で得られたデータに対してフィッティングを行う通常モードと、2種類の試験片で得られたデータに対してフィッティングを行う TSM モードが実装されており、本改良は両モードに対して実施する。

2.3. ワイブル応力算出ツール及びワイブルパラメータ算出ツールの検証

2.1 で改良したワイブル応力算出ツールを用いて、正常な解析が可能であることを検証する。検証項目は以下の通り。

- ・ 2.1.1 の検証のため、従来法、改良法でのワイブル応力を算出し、両手法での比較を行う。ワイブル応力算出のデータセットは、原子力機構より貸与する以下の 2 セットとする。
 - ▶ セット A
インクリメントの増加に伴ってワイブル応力が単調増加するデータセット
 - ▶ セット B
インクリメントの増加に伴ってワイブル応力が一部減少するデータセット
- ・ セット A については、両算出法で結果が変わらない、あるいは差が極めて小さいこと、セット B については、インクリメントの増加に伴うワイブル応力の減少が生じない、あるいは単調増加することを確認する。
- ・ 2.1.2 の検証のため、追加したミーゼス応力及び静水圧応力による閾値設定が正常にできることを確認する。この検証において使用するモデルは、受注者が作成した簡易なものとする。
- ・ 2.1.3 の検証のため、応力閾値及び座標指定の両オプションを入れた状態で計算が正常にできることを確認する。使用するデータセットは、上述の 2.1.2 の検証に用いたものと同ーとする。

2.2 で改良したワイブルパラメータ算出ツールを用いて、設定した計算条件通りのワイブル応力算出ツール用入力ファイルが出力されることを検証する。

以上の検証において正常な計算ができず、その原因が機能整備の不備によるものである場合には機能の修正を実施すること。

詳細な検証手順については、原子力機構との協議の上決定する。

2.4. 報告書などの作成

2.1 及び 2.2 の実施内容について、報告書に取りまとめる。報告書には、コードに追記した箇所及びコードを修正した箇所が分かるように、該当部の新旧対応表を付けること。また、改良後のワイブル応力算出ツール及びワイブルパラメータ算出ツールの使用マニュアルを作成する。さらに、2.3 で実施した各ツールの検証の結果として、下記の内容を整理し、報告書に記載する。

- ・ ワイブル応力算出ツールの検証に用いた計算条件、用いたデータセット、受注者が作成した簡易解析モデルの説明等
- ・ 2.1.1 の検証における改良前後（"CURRENT"及び"HISTORY"）でのワイブル応力

算出結果の比較

- ・ 2.1.2 の検証における各閾値タイプでのワイブル応力算出結果の比較
- ・ 2.1.3 の検証における応力閾値のみ（もしくは座標指定のみ）及び両オプション使用時のワイブル応力算出結果の比較

以上