

原子炉圧力容器を対象とした残留応力解析

仕 様 書

1. 一般仕様

1.1. 件名

「原子炉圧力容器を対象とした残留応力解析」

1.2. 目的及び概要

本仕様書は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という）安全研究センター経年劣化研究グループの発注作業について記述するものである。

国内軽水炉の原子炉圧力容器（以下「RPV」という）を対象とした確率論的破壊力学解析を行うためには、入力条件として最も重要な影響因子の一つである溶接残留応力分布を算出する必要がある。本作業では、加圧水型原子炉の RPV を対象に、有限要素解析により溶接残留応力を算出する。

1.3. 契約範囲

1.3.1. 契約範囲内

- 1) 溶接残留応力解析
- 2) 報告書の作成

1.3.2. 契約範囲外

なし

1.4. 納期

令和 9 年 2 月 26 日（金）

1.5. 納入場所及び納入条件

1.5.1. 提出図書の納入場所

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 319 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事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

1.7.1. 提出図書等

(1) 報告書（MS Word 文書）	納入時	3 部
(2) (1)を格納した電子媒体	〃	1 式
(3) その他機構が必要とする書類		詳細は別途協議

1.7.2. 提出場所

1.5.1 と同じ

1.7.3. 報告書

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。

1.8. 支給品、貸与品

1.8.1. 支給品

なし

1.8.2. 貸与品

各種解析条件（溶接条件 等）に係る情報

1.9. 機密保持

受注者は、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等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、協議・打合せを実施するものとする。この協議・打合せの主要な内容は議事録として、打合せ後 2 週間以内に提出すること。また、作業において問題が生じた場合、受注者は遅滞無く原子力機構に報告し、両者の協議により対策を決めることとする。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

受注者が成果の内容を公開する場合は、受注者及び原子力機構の関係者間で協議を行い、公開範囲を決定する。

1.12.3. 権利義務の継承

本件は、原子力規制庁から原子力機構が委託を受けて実施するものであり、実施体制を変更する場合、原子力機構は原子力規制庁の承認を得る必要がある。したがって受注者は、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

検査員

- (1) 一般検査 管財担当課長
- (2) 技術検査 経年劣化研究グループ員

2. 技術仕様

2.1. 溶接残留応力解析

加圧水型原子炉の RPV の製造工程を模擬して、有限要素解析による残留応力評価を実施する。解析には、Abaqus を使用すること。Abaqus 以外の解析コードを使用する場合には、Abaqus と同等な解析結果が得られる解析コードであることを証明する資料を原子力機構に提出し、確認を得た上で使用すること。

解析対象は、図 1 に示す RPV の胴部とし、図 2 の RPV の展開図に示す溶接線を参考とした軸方向と周方向の継手溶接及び RPV 内面に対する肉盛り溶接を模擬した解析を行う。RPV の母材部及び継手溶接部の材料は低合金鋼、肉盛溶接部の材料はオーステナイト系ステンレス鋼とする。RPV の寸法は、内半径（円筒中心軸から母材までの距離）を 2000 mm、肉盛厚さを 5.5 mm、母材厚さを 200 mm とする。モデル化する領域は、周方向溶接部 1 か所、軸方向溶接部 6 箇所を含む領域とし、高さについては円筒と円筒の周方向溶接時に生じる拘束の影響を模擬できる程度の寸法とし、原子力機構と協議の上決定するものとする。溶接を模擬した解析の順番は、①3 箇所の軸方向溶接、②余盛部の削除、③肉盛溶接、④円筒の端部への周方向溶接のための開先加工、⑤周方向溶接、⑥周方向溶接部の余盛部の削除、⑦周方向溶接部の内面側への肉盛溶接、⑧溶接後熱処理とする。開先形状は X 開先とし、①及び⑤の溶接は 50 層 106 パスとする。③及び⑦の肉盛溶接は単層盛（50 mm 幅带状電極）とする。溶接部の開先形状や、入熱条件、材料物性など、解析に必要な詳細条件については、受注後速やかに指示する。また、原子力機構から、事前に実施したモックアップ製作において測定した、溶接部近傍の表面における温度履歴情報を貸与する。

解析モデルの作成に当たって、溶接部近傍などの応力勾配が大きくなると推察される箇所について、メッシュを十分に細かくすること。溶接部に関しては、複数の溶接パスに分けてメッシュ分割した上、解析時には逐次各パスの溶接過程ごとに、境界条件及び解析ステップを設定すること。また、同じ溶接パスにおける軸方向又は周方向に移動する熱源について、時間順に入熱を要素に与えることで模擬すること。これらの溶接を模擬した解析に当たっては、入熱に関してサブルーチン「DFLUX」を、要素の付加にはサブルーチン「UEPACTIVATIONVOL」を用いる方法を推奨する。ただし、他の手法を用いる場合であっても、同等の解析結果が得られることを適切に示せる場合にはこの限りではない。なお、温度変化に伴う材料の相変態については、本解析では考慮しないものとする。

出力として、円筒に対して周方向及び軸方向の応力成分について、内表面における 2 次元の応力分布を図示すること。また、各溶接線に対して内面からの距離と残留応力の関係をまとめ、表形式及び図により示すこと。残留応力の評価位置の詳細については、解析結果に基づき、原子力機構と協議の上、決定することとする。

なお、本解析では、解析対象が比較的大きいため、解析対象や溶接手順をすべて正確にモデル化した三次元解析を実施することは現実的ではないことから、受注者の溶接残留応力解析の知見を基に、原子力機構との協議の上、計算負荷を低減させるための工夫を施してもよい。工夫に当たっては、図 1 の上側の胴部における軸方向溶接部の溶接定常部における溶接残留応力が正しく計算される方法とする。例えば、図 3 に示すように、上側の胴部における軸方向溶接部を中心とした周方向に 120° の範囲をモデル化し、側面を対称面条件にする方法が考えられる。この場合、下側の胴部における軸方向溶接部は対称面に存在することになるが、考慮しないこととする。

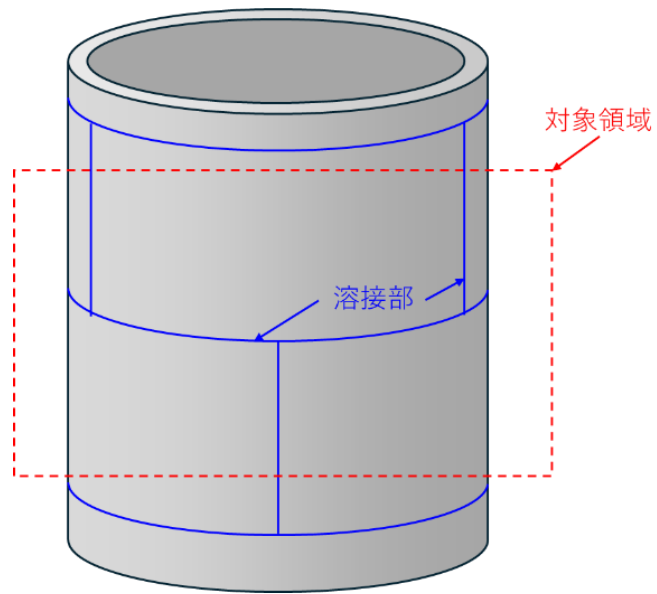


図 1 解析対象の概略図

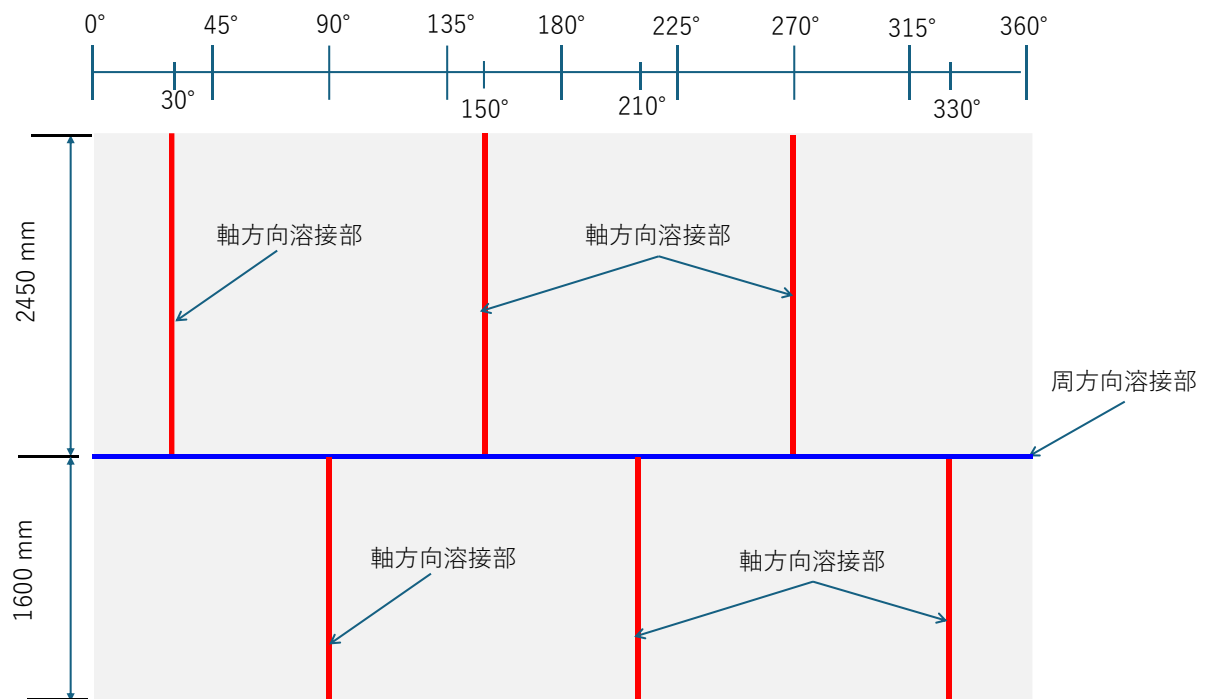


図 2 RPV 胴部の展開図

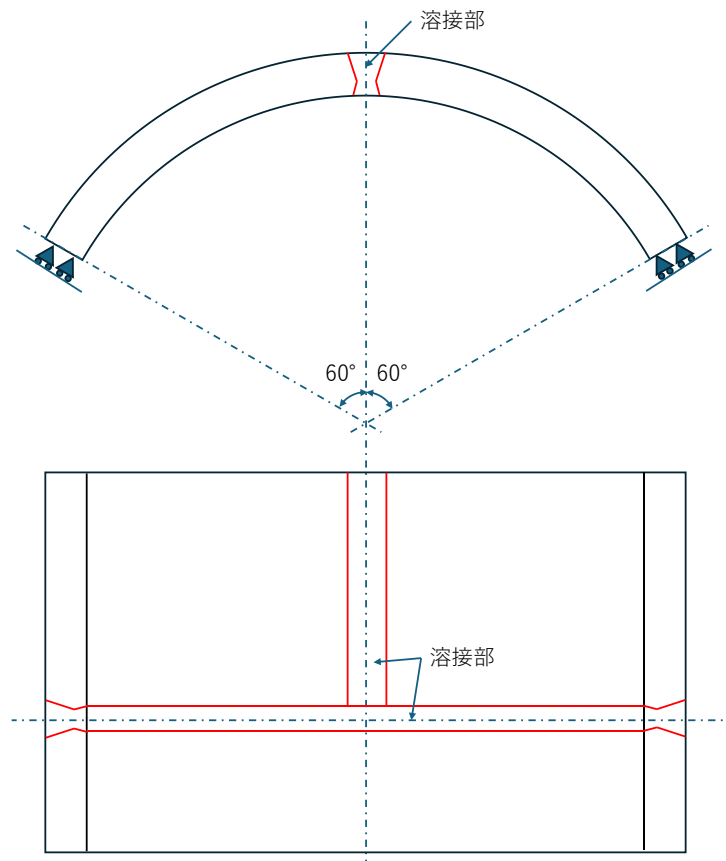


図3 軸方向溶接を模擬した解析のためのモデル化例

2.2. 報告書の作成

2.1 で実施する溶接残留応力解析で整備した解析モデルを含む情報及び作業内容をまとめた報告書を作成し、提出すること。

以上