

女川原子力発電所 1 号機 炉心シュラウド中間部リングおよび下部リングのひびについて

1. 事象の概要

女川原子力発電所 1 号機は、平成 14 年 9 月 8 日より実施中の第 15 回定期検査において、原子力安全・保安院の指示「沸騰水型原子炉炉心シュラウドの応力腐食割れに関する対応について」(平成 13.09.05 原院第 3 号)に基づき炉心シュラウドの目視点検を実施した結果、炉心シュラウドの中間部リング溶接線近傍に 12 個(最大長さ約 10 cm)および下部リングの溶接線近傍に 61 個のひび(最大長さ約 13 cm)を確認した。

さらに、超音波探傷検査によるひびの深さ測定を行ったところ、中間部リング(厚さ約 200 mm)については深さ最大約 17 mm、平均約 7 mm、また、下部リング(厚さ約 180 mm)については深さ最大約 25 mm、平均約 14 mmであることを確認した。

なお、その他の溶接部は、目視可能な範囲について全て目視点検を行ったが、異常は認められなかった。

2. 原因調査

(1) ひび発生要因の調査

中間部リングおよび下部リングにひびが発生した原因について、中間部リングのひびの一部をサンプル採取し(図 1 参照)調査を行った結果、以下のことが確認されたことから、ひびの発生原因は応力腐食割れの可能性が高いと推定される。

- a. サンプルの断面・破面を調査した結果、表層部には粒内割れが観察され、内部では粒界割れが観察された。
- b. 材料成分は J I S 規格を満足している。
- c. 腐食や浸食の痕跡がない。
- d. 疲労による破面は認められなかった。

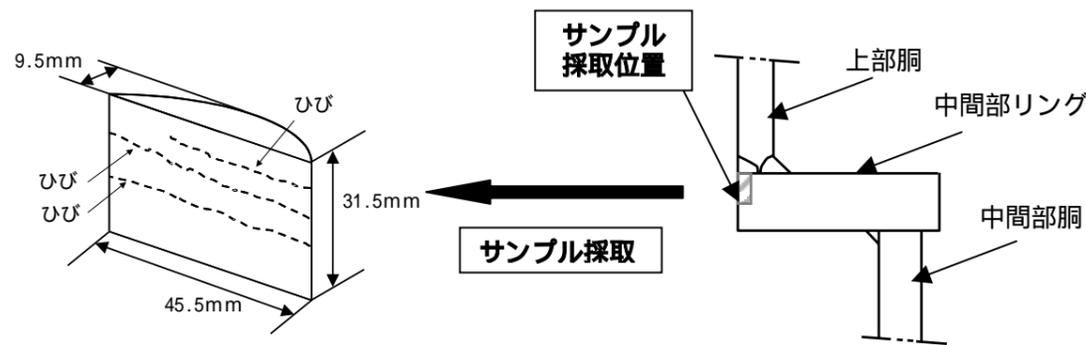


図 1 サンプル採取位置

(2) 応力腐食割れに関する調査

ひびの発生原因が応力腐食割れの可能性が高いことから更に調査した結果、以下のことが確認された。

- a. サンプルの硬さ<sup>注1</sup>測定を行った結果、表層部<sup>注2</sup>に硬化層が認められた。硬化層は、粒内型応力腐食割れ<sup>注3</sup>が発生するといわれる硬さを超えていた。これはシュラウド製造時の機械加工<sup>注4</sup>による硬化と考えられる。
- b. ひびが確認された溶接部近傍で、溶接による残留応力<sup>注5</sup>の解析を行った結果、中間部リングおよび下部リングの外表面近傍に、引張り応力が発生している。
- c. 低炭素ステンレス鋼は粒界型応力腐食割れ<sup>注6</sup>が発生しにくいことが確認されているが、ひび割れが発生した場合には粒界型応力腐食割れが進展する旨の知見が得られている。
- d. 応力腐食割れは通常の原子炉運転環境における原子炉水の溶存酸素濃度<sup>注7</sup>でも発生する可能性がある。

3. 推定原因

原因調査結果から、以下の条件が重なり、表層部に粒内型応力腐食割れが発生し、さらに表層部の粒内割れを起点として粒界型応力腐食割れへ進展したものと推定される。

(図 2 参照)

- a. 製造時の機械加工による表層部の硬化
- b. 溶接部近傍の外表面の引張り残留応力
- c. 通常運転中の原子炉水の溶存酸素濃度

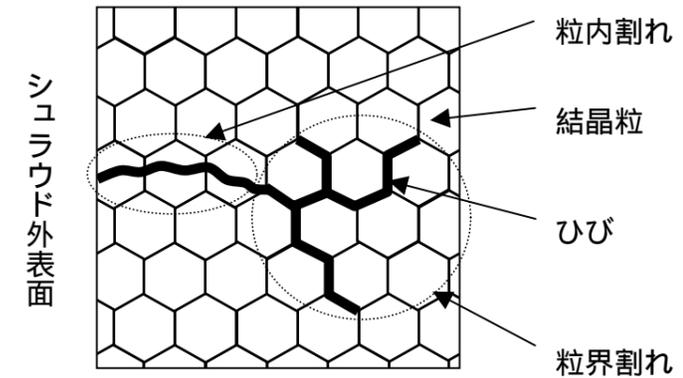


図 2 応力腐食割れの進展イメージ

注1 硬さ : 材料の硬さ測定では、正四角錐のダイヤモンド圧子を一定の荷重で試験体に押し付け、その荷重で生じた試験面のくぼみの表面積から硬さを求める方法を採用した。

注2 表層部 : シュラウド表面から 0.3 mm の部分。

注3 粒内型応力腐食割れ : 応力腐食割れの形態の一つで、結晶粒の内部を貫通して割れを起こす現象。

注4 製造時の機械加工 : シュラウド製作時、所定の形状、寸法に仕上げるため切削加工を行っている。

注5 残留応力 : 材料を加工した際や溶接の熱の影響により材料内に応力が発生し、加工や溶接を終えた後もその応力が材料に残る現象。

注6 粒界型応力腐食割れ : 応力腐食割れの形態の一つで、結晶粒どうしの境界が腐食を受け、結晶粒の境界に沿って割れを起こす現象。

注7 溶存酸素濃度 : 原子炉水中に溶けている酸素の濃度。

4. 炉心シュラウドの健全性評価結果

(1) 現時点での健全性評価

大小さまざまな深さのひびが有ることから、ひびの平均的な深さを算出し、ひびが確認されない箇所も含めて、その平均的な深さのひびが炉心シュラウドの全周にあるものと仮定した(図3参照)。また、リングの板厚は、シュラウド胴部板厚と同じものと仮定し、実際の板厚よりも薄いものと仮定した。その仮定の下で、ひびのない健全な部分の面積(残存面積)を求めた。

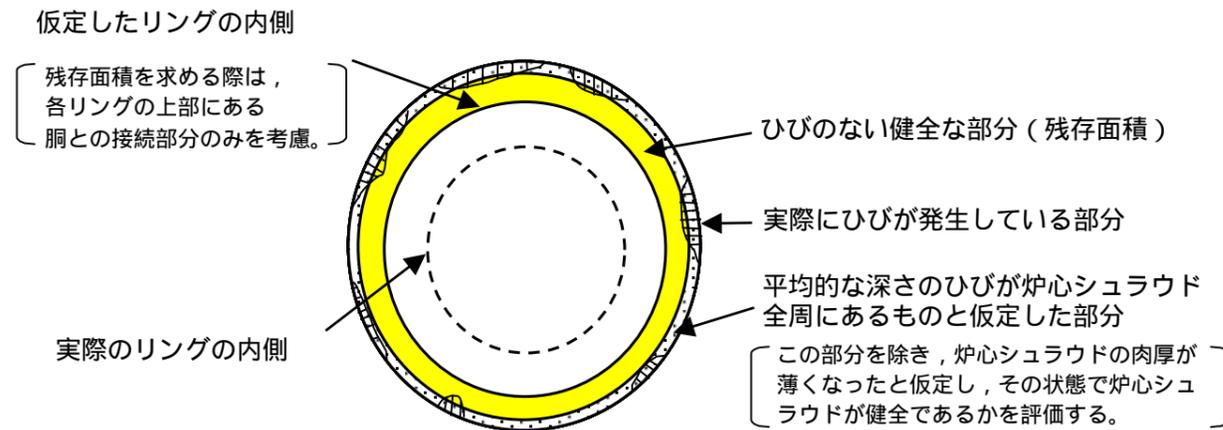


図3 炉心シュラウド断面図(イメージ)

次に、運転中に炉心シュラウドにかかる差圧<sup>注9</sup>、自重、地震などの応力を考慮しても、炉心シュラウドが壊れず、構造上の強さを確保するのに必要な面積(必要残存面積)を通商産業省告示<sup>注8</sup>に基づき評価した。

その結果、中間部リングの現在の残存面積は必要残存面積の約1.1倍を有し、また、下部リングについては、約4倍を有していることから、炉心シュラウドの構造上の必要な強度を確保していると評価した。(表1参照)

表1 現時点の残存面積

	中間部リング	下部リング
現時点の残存面積 (平均ひび深さ)	$3.1 \times 10^5 \text{ mm}^2$ (7.0 mm)	$2.8 \times 10^5 \text{ mm}^2$ (13.7 mm)
必要残存面積 (平均ひび深さ)	$2.7 \times 10^4 \text{ mm}^2$ (29.8 mm)	$6.6 \times 10^4 \text{ mm}^2$ (32.2 mm)
必要残存面積 に対する裕度	約1.1倍	約4倍

(2) 5年後の健全性評価

ひびの進展評価結果を基に中間部リングおよび下部リングの5年後の残存面積を評価した結果、中間部リングでは必要残存面積の約6倍、また、下部リングは約3倍を有していることから、炉心シュラウドの構造上の必要な強度を確保していると評価した。(表2参照)

表2 5年後の残存面積

	中間部リング	下部リング
5年後の残存面積 (平均ひび深さ)	$1.7 \times 10^5 \text{ mm}^2$ (18.3 mm)	$2.2 \times 10^5 \text{ mm}^2$ (19.0 mm)
必要残存面積 (平均ひび深さ)	$2.7 \times 10^4 \text{ mm}^2$ (29.8 mm)	$6.6 \times 10^4 \text{ mm}^2$ (32.2 mm)
必要残存面積 に対する裕度	約6倍	約3倍

5. 対策等について

中間部リングおよび下部リングにおいて確認されたひびは、その進展を考慮しても、至近の原子炉の運転には問題なく、運転継続に支障がないと評価した。

今後、ひびの影響が十分小さく問題とならない期間内に炉心シュラウドの再点検、または補修を行うこととする。

以上

注8 通商産業省告示：通商産業省告示501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」

注9 差圧：運転中にシュラウドの内側と外側にかかる圧力の差。