

復水貯蔵槽内張り材の腐食孔の原因と対策について

1. 事象の概要

浜岡原子力発電所5号機(改良型沸騰水型、定格電気出力138万キロワット)は、2011年5月14日の停止過程において、主復水器の細管損傷により海水が主復水器に流入し、その一部が復水貯蔵槽へも混入し、槽内の水の塩化物イオン濃度が上昇しました。

このため、2011年10月21日より、槽内の水抜きを実施し、洗浄および内張り材(ステンレス鋼)の目視点検を開始しました。

その結果、内張り材の溶接部および溶接部近傍に40個の孔(底部35個、壁部5個)を確認しました。その後、底部の35個の孔を隣接する孔ごとにまとめ、26箇所に区分けし、補修のために孔の除去を実施した箇所から順次、発泡による漏れの有無を確認する試験を実施しました。その結果、26箇所のうち11箇所に発泡があることを確認したため、2012年3月30日、貫通している部分があると判断しました。

2. 復水貯蔵槽の点検結果

(1) 目視点検の結果

- 内張り材の溶接部および溶接部近傍に40個の孔(底部35個、壁部5個)を確認しました。
- 復水貯蔵槽にクラッド(主成分は鉄)が堆積していました。
(クラッドは、配管内面の錆等が、槽内に持ち込まれ底部に沈降等しているものであり、一般的に、タンク類の点検時に確認され、今回の事象に特有のものではありません。)

(2) 孔の詳細点検結果

- 底部の孔
発泡試験を実施した26箇所のうち11箇所に発泡を確認しました。このため、発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令(以下、「技術基準」という。)の要求事項である「漏えいがないこと」を満たしていないと判断しました。
- 壁部の孔
確認した5個の孔は貫通しておらず、内張り材の残存する板厚が技術基準の要求事項「板厚1.5mm以上」を満たしていることを確認しました。

(3) その他

復水貯蔵槽の漏えい検出装置の排水弁を開けたところ、溜まり水(約40ml)を確認したため、復水貯蔵槽から漏えいがあったと推定しました。

3. 要因の調査

腐食孔が発生した要因として、水質、溶接不良等が考えられるため、以下のとおり調査を実施しました。

(1) 設計に起因するもの

材料(SUS304)選定、水質基準の設定不良による腐食の可能性について、文献^{*1}を調査した結果、復水貯蔵槽の最高使用温度66℃以下では、通常時の水質基準(塩化物イオン濃度10ppb^{*2}以下)において、選定した材料に腐食が発生しないことを確認しました。

(2) 据付時に起因するもの

材料の仕様間違い、溶接施工不良等の可能性について、過去の記録等を調査した結果、問題がないことを確認しました。

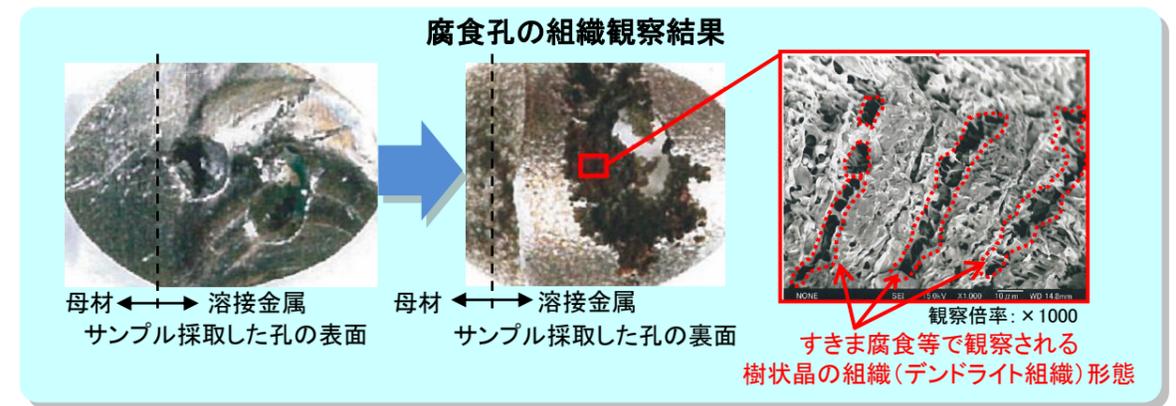
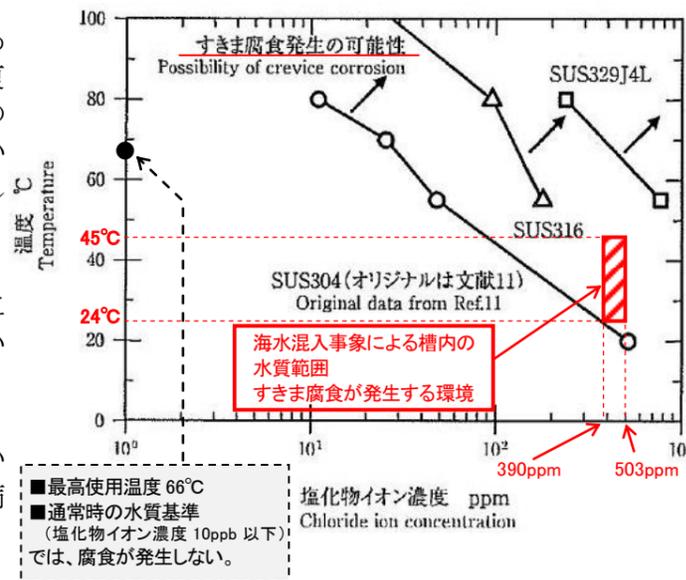
(3) 海水混入前までの運用に起因するもの

腐食性物質の混入等による腐食の可能性について、過去の水質履歴を確認した結果、水質基準を満たしており、問題がないことを確認しました。

(4) 海水混入事象に起因するもの

文献^{*1}を調査した結果、海水混入後の水質環境(塩化物イオン濃度390~503ppm^{*2}、水温24~45℃)およびクラッドの堆積により「すきま腐食」が発生しやすい環境となることを確認しました。

また、腐食孔のサンプルを採取し、組織観察を実施した結果、すきま腐食等で観察される樹状晶の組織(デンドライト状組織)形態が認められました。



4. 原因の推定

復水貯蔵槽にクラッドが堆積している状態において、海水が復水貯蔵槽内に混入したことで、クラッドと内張り材のすきま部が腐食しやすい環境となり、すきま腐食が発生、進行し、孔が貫通したものと推定しました。

なお、文献^{*1}を調査した結果、内張り材よりも溶接部の方が腐食しやすいことを確認しました。

5. 腐食孔の修理

復水貯蔵槽内の洗浄により塩分を十分除去した後、腐食孔(底部35個、壁部5個)について、発電用原子力設備規格の「設計・建設規格」および「溶接規格」に基づき、以下の修理を実施しました。

- (1) 貫通していない孔
孔除去部の内張り材の残存板厚に応じて、表面を滑らかに仕上げ(削り)または、溶接による補修を実施しました。
- (2) 貫通している孔
溶接補修または、あて板溶接による補修を実施しました。

【補修溶接の例】



6. 再発防止対策

今回の事象は、主復水器の細管が複数損傷し、海水が主復水器に流入した結果、復水貯蔵槽にまで海水が混入したことが原因であるため、以下の再発防止対策を実施します。

(1) 海水流入時の対応手順の明確化

今回の事象を踏まえ、従来から定めていた細管からの微量な海水漏えいに対応する運転操作手順に加え、原子炉施設への海水混入や影響範囲の拡大を可能な限り抑制するため、原子炉への給水経路に設置している導電率計の指示が振り切れるような事象が発生した場合は、復水貯蔵槽への給水を停止するとともに、緊急停止操作に移行するよう、手順を追加しました。

また、継続的に運転員への教育を実施します。

(2) 主復水器への海水流入防止(2011年7月15日お知らせ済み)

主復水器の細管損傷の原因となった配管の破断については、構造を変更して再発防止を図ります。

7. 今後の対応

海水が混入した設備について、原子力安全・保安院へ報告した計画(2012年4月25日お知らせ済み)に基づき設備の分解・開放点検等を実施するとともに、設備の健全性を評価します。

※1 【宮坂松甫, エバラ時報「腐食防食講座—海水ポンプの腐食と対策技術」No.224, (2009-7)】、【社団法人 腐食防食協会「材料と環境 vol.41(1992)833-835」】等。

※2 濃度の単位で、1000kg中に1g含まれていると1ppm(百万分の1の量)であり、1000kg中に0.001g含まれていると1ppb(10億分の1の量)。