

平成20年9月26日
原子力安全対策課
(20-55)
<17時記者発表>

大飯発電所3号機の定期検査状況について (原子炉容器出口管台溶接部での傷の原因と対策)

県内の加圧水型軽水炉において、近年、600系ニッケル基合金溶接部での応力腐食割れが発生していることから、県は、設備の保安全管理において応力腐食割れの予防に万全を期すことが重要と考え、原子力安全・保安院に対して、事業者の点検計画や補修計画の技術的な妥当性を慎重に確認するよう要請するとともに、関西電力株式会社に対しては、点検や予防保全工事を計画的かつ着実に進めるよう求めた。

また、今回発見された原子炉容器出口管台部の傷に関して、その原因や対策について関西電力株式会社から報告を受けるとともに、原子力安全・保安院からは、補修後の配管強度は国の技術基準に適合しており、設備の健全性に問題ないことを確認しているとの報告を受けた。

関西電力株式会社から受けた報告内容は下記のとおりである。

記

大飯発電所3号機（加圧水型軽水炉；定格電気出力 118.0万kW）は、平成20年2月2日から第13回定期検査中であり、国内外で発生した600系ニッケル基合金溶接部での応力腐食割れ事象を踏まえ、原子炉容器の1次冷却材出口および入口管台の内面溶接部^{*1}（計8箇所）について、予防保全としてウォータージェットピーニング工事^{*2}を実施する計画としていた。

この工事に先立ち、内面溶接部の渦流探傷試験を実施した結果、Aループ出口管台溶接部で有意な指示が1箇所認められ、水中カメラでの目視点検で長さ約3mmの傷が認められた。当該箇所以外では指示は認められなかった。

目視点検で認められた傷について、超音波探傷試験を実施した結果、傷の深さは特定できなかった。傷の深さを特定するため、当該配管の工事計画認可申請書^{*3}に記載している板厚70mm（深さ 4.6mm）まで削ったが、傷が残存しており、建設当初の技術基準を満足していないと判断した。

このことによる周辺環境への影響はなかった。

[平成20年5月26日 記者発表済]

- ※1 原子炉容器の出・入口管台部では、原子炉容器（低合金鋼製）と1次冷却材管（ステンレス製）とを溶接するため、原子炉容器の出・入口管台の端部にステンレス製の短管（セーフエンド）を600系ニッケル基合金にて溶接している。
- ※2 溶接部表面に高圧ジェット水を吹き付けることにより、表面の引張り残留応力を圧縮応力に変化させ、応力腐食割れの発生を防止する工法。
- ※3 配管や機器の設計にあたって、運転時や事故時、地震時等の強度計算を示したもの。この結果が、国の定めた技術基準を満足しているかどうかを国は審査する。

1 傷の調査結果

当該配管の工事計画認可申請書の板厚70mmを超えて配管を削るため、傷を含む幅約110mmの範囲だけ全周にわたり板厚を64mmとした形状でも、国の技術基準を満足することを確認した後、傷を円弧状に深さ約10.5mm（当該部板厚：約64.1mm）まで削り、目視点検で長さ約5.5mmの傷が確認された。

このため、傷を含めた幅約110mm、周方向約130mmの部分のみ板厚を53mm、それ以外の部分は当初の申請板厚（70mm）とした形状で強度計算を行い、国において技術基準を満足することが確認された後、傷を中心にさらに円弧状に深さ約20.3mm（当該部板厚：約54.3mm）まで削った結果、目視点検で傷が認められず、渦流探傷試験でも有意な信号が確認されなくなった。

その後、さらに約0.7mm削り（合計削り深さ：約21.0mm）、目視点検および渦流探傷試験で傷がないことを確認した。以上の結果、傷があった部分の板厚は約53.6mmとなった。 [平成20年9月3日 お知らせ済]

2 原因調査結果

(1) 目視点検の結果

水中カメラによる目視点検の結果、溶接部表面の周方向で等間隔に筋状の加工跡が認められた。傷は、ほぼ同じ位置で600系ニッケル基合金溶接金属部の結晶境界^{*4}に沿って深さ方向に進展しており、様相として応力腐食割れの特徴である「折れ曲がり」や「枝分かれ」が確認された。

※4 溶接部では、溶融した金属が固まる際に柱状の結晶(デントライト結晶)ができる。

(2) 製造履歴等の調査

当該原子炉容器は、昭和62年5月から工場で製造され、平成元年12月に発電所に設置されている。この時の製造記録や検査記録、関係者への聞き取り調査を行った結果、工場において原子炉容器管台とセーフエンド部を600系ニッケル基合金で溶接した後、内面を平滑にするため、金属製の刃を周方向に回転させて切削する機械加工と、バフ研磨^{*5}を行った。また、これら加工後、溶接部について浸透探傷試験、放射線透過試験、超音波探傷試験を行い、異常のないことを確認していた。

当該管台部は平成13年の第8回定期検査において、原子炉容器供用期間中検査として超音波探傷検査を実施し、異常は認められていない。

今回実施した水中カメラによる目視点検の結果、Aループ出口管台溶接部の多くで機械加工跡がバフ研磨により見えない様相が確認されたが、傷が確認された部分ではバフ研磨の施工跡が確認できなかった。また、Aループ出口管台以外の管台溶接部については、バフ研磨の施工跡がAループ出口管台に比べて広い範囲で確認された。

※5 砥粒を付着させた布ペーパーを何枚も円形状に組み合わせたもの（バフ）で研磨すること。バフ研磨することで研磨面の引張り残留応力が圧縮応力に改善される。

(3) 機械加工による影響の調査

機械加工による影響を確認するため、ステンレス配管に600系ニッケル基合金を溶接し、内面を機械加工した実物大の試験体を製作し目視点検したところ、当該部で認められたものと同様、周方向に筋状の機械加工跡が確認され、内面での残留応力を測定した結果、周方向に大きな引張り残留応力が確認された。

3 原因

当該傷の目視点検や製造履歴調査、機械加工による影響調査の結果、さらには国内外でこれまでに報告されている事例等から、1) 応力腐食割れの感受性のある600系ニッケル基合金溶接部で、2) 溶接および機械加工による引張り残留応力と運転時の圧力が作用し、3) 高温の1次冷却材水質環境の三因子が重畳して発生・進展した応力腐食割れであると推定された。

4 今後の予定

傷が発見されたAループ出口管台溶接部について、傷を全て削り取った形状にて応力腐食割れの予防保全対策としてウォータージェットピーニング工事を施工する。

その後、1次冷却材システムの耐圧漏えい検査^{※6}を実施し、当該部の健全性を確認した上で、11月上旬に原子炉を起動し、調整運転を開始する予定である。

なお、当該溶接部については、次回定期検査で耐食性に優れた690系ニッケル基合金による補修溶接等を実施するため、今後、具体的な工法の検討や工具の製作などを行うこととしている。

※6 1次冷却材システムの圧力を昇圧（運転時圧力（約15.4MPa）の1.1倍（約17.0MPa））した後、当該部の目視点検を行い、変形等の異常がないことを確認する検査。

（経済産業省による I N E S の暫定評価尺度）

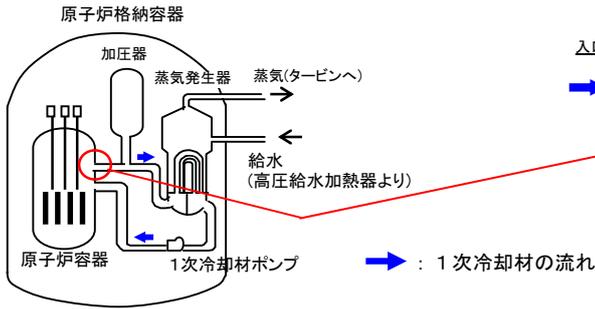
基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

I N E S : 国際原子力事象評価尺度

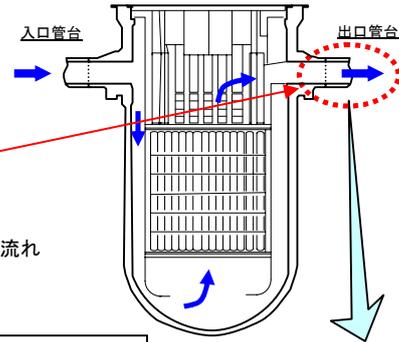
問い合わせ先(担当: 藤内)
内線2354・直通0776(20)0314

大飯発電所3号機 原子炉容器Aループ出口管台溶接部の傷の原因と対策について

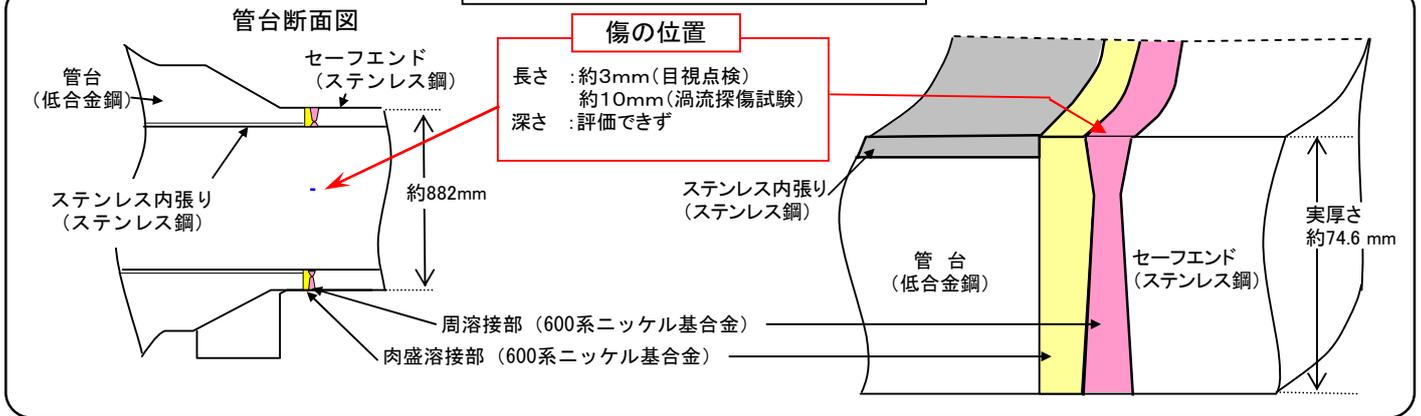
系統概略図



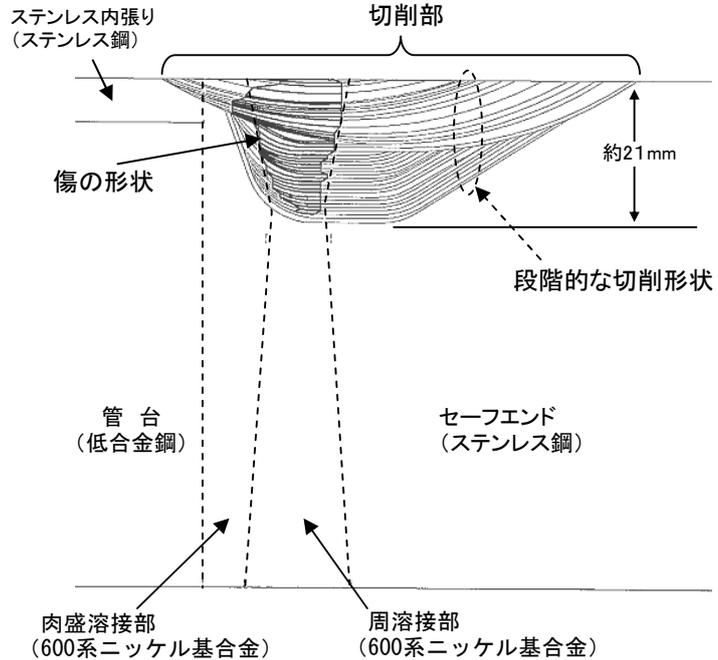
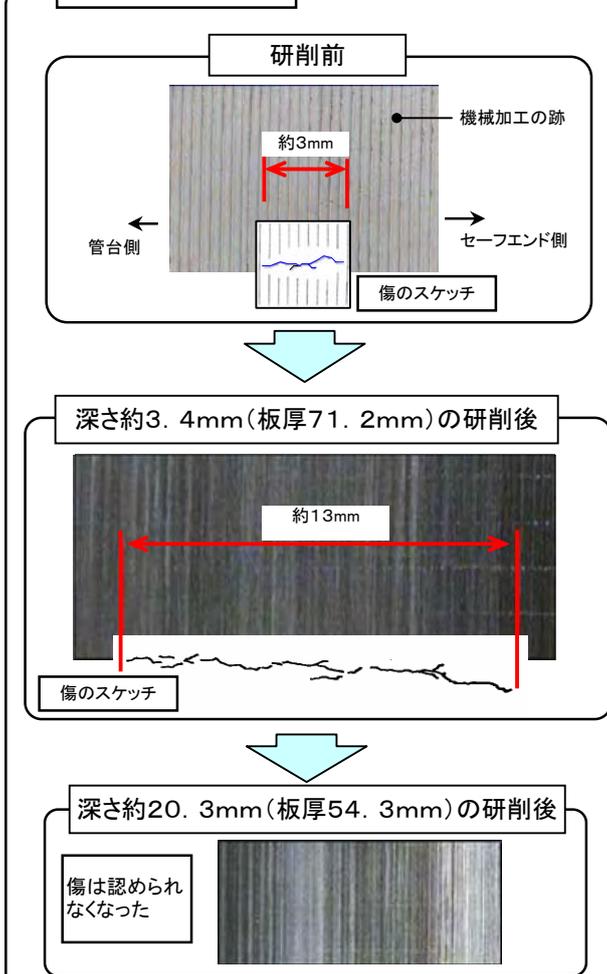
原子炉容器断面概要図



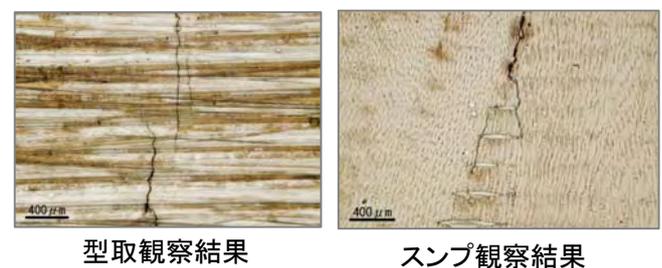
Aループ出口管台の傷の位置



研削結果



[参考]高浜2号機の蒸気発生器管台溶接部の傷



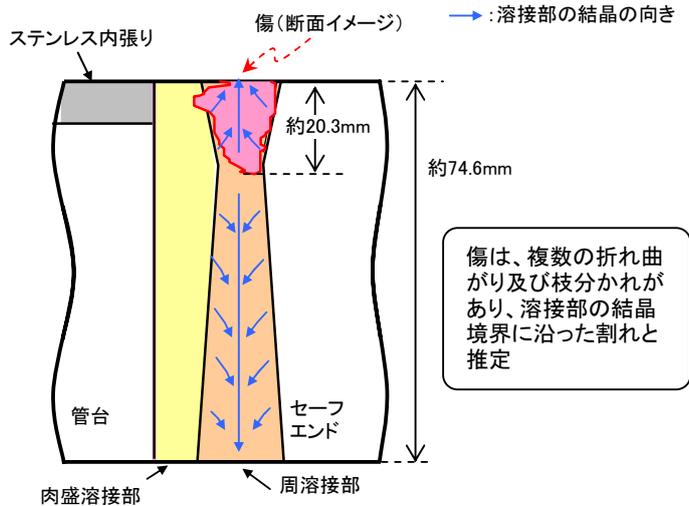
機械加工による影響調査

機械加工の再現試験



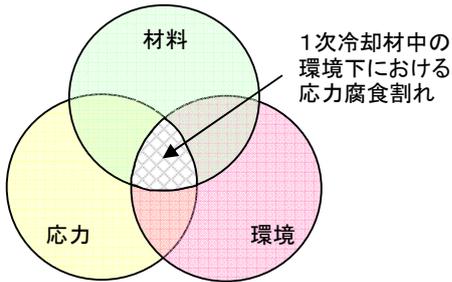
- 機械加工後の表面は、実機の水中カメラによる外観目視観察結果と同様の様相
- 機械加工後の表面から1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生する可能性がある引張残留応力を確認

傷形状イメージ図



傷は、複数の折れ曲がり及び枝分かれがあり、溶接部の結晶境界に沿った割れと推定

推定原因



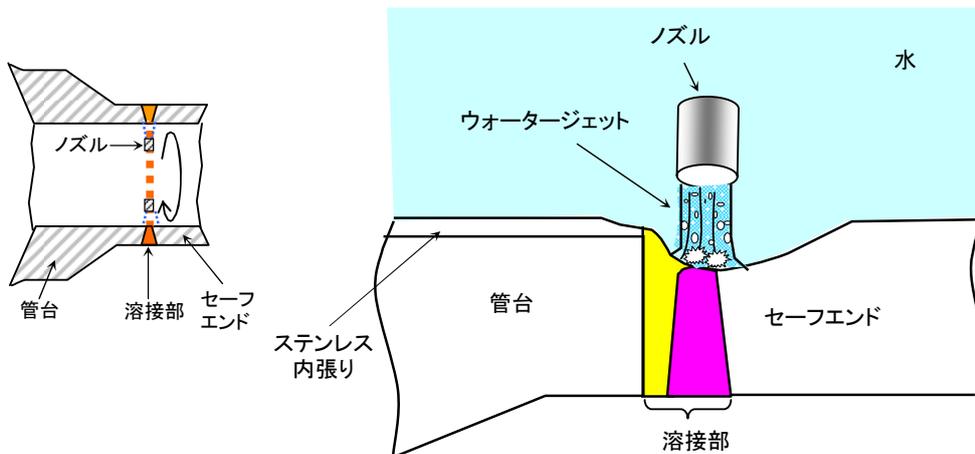
- ・環境: 高温の1次冷却材水質環境
- ・材料: 応力腐食割れの感受性がある600系ニッケル基合金
- ・応力: 溶接および機械加工による引張残留応力



三因子が重畳し、応力腐食割れが発生したものと推定

対策

応力腐食割れの予防保全対策として、表面近傍の引張残留応力を圧縮応力に変えるため、ウォータージェットピーニング工事を施工する



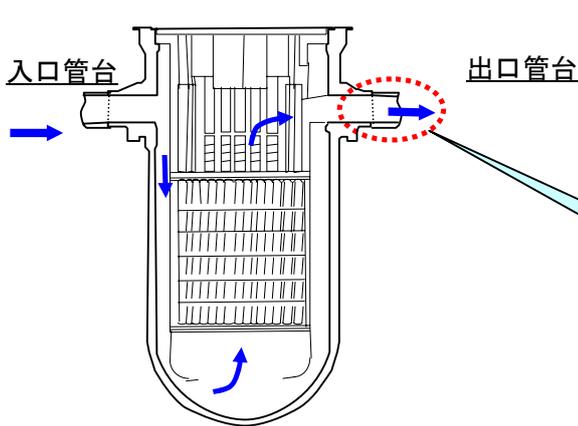
研削部はノズルの角度を変えてウォータージェットを吹き付ける

【説明】

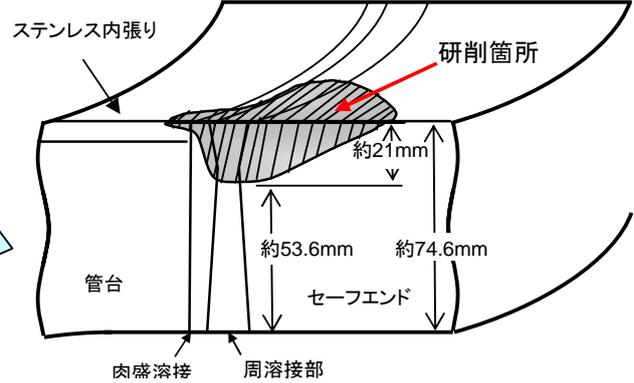
水中で高圧ジェット水(約60MPa)をノズルから噴射すると気泡が発生する。この気泡は、高速のウォータージェット流に乗って流れ、金属表面近傍で崩壊する。その時に生じる衝撃力で金属表面をたたき(ピーニング)、金属表面近傍の引っ張り残留応力を圧縮応力に変化させる。

原子炉容器

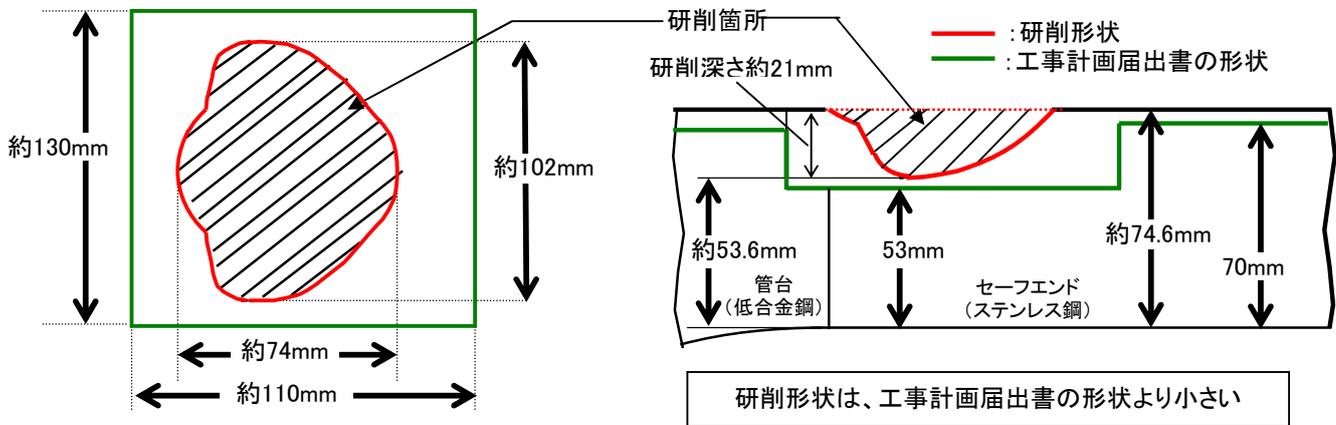
→ : 1次冷却材の流れ



【上から見た研削形状】



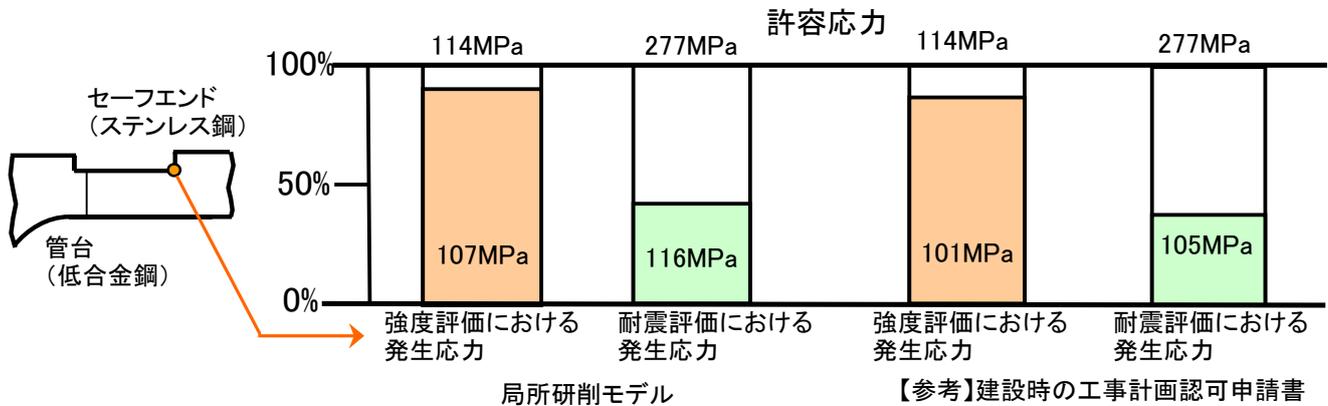
【横から見た研削形状】



工事計画届出書の評価内容

○局所研削モデル（箱型形状）を用いて以下の評価を実施

- ・強度評価：設計・建設規格に基づき、管台部の強度評価（通常運転時、事故時の圧力及び熱等によるもの）を行い、国の技術基準に適合していることを確認。
- ・耐震評価：耐震設計技術指針に基づき、管台部の耐震評価を行い、国の技術基準に適合していることを確認。



○その他

窪みが残存して当該部で流れに乱れが生じることによる侵食等の可能性についても評価を行い、発生しないことを確認。

注)建設時の工事計画認可申請書について、強度評価を行った上で、幅約110mmの部分のみ板厚64mmとする形状に変更した後、再度強度評価を行い、上記の形状に変更した。