

美浜発電所2号機の定期検査状況について (A-蒸気発生器入口管台溶接部での傷の原因と対策)

このことについて、関西電力株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

記

美浜発電所2号機(加圧水型軽水炉;定格電気出力50.0万kW)は、平成19年7月20日から第24回定期検査中であり、今定期検査において、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、2台ある蒸気発生器(SG)の1次冷却材出口および入口管台溶接部^{※1}(計4箇所)内面について、予防保全としてショットピーニング工事^{※2}を実施するため、事前に当該溶接部内面の渦流探傷試験を実施したところ、A-SGの入口管台の13箇所では有意な信号指示が認められた。なお、A-SGの出口管台およびB-SGの出入口管台では有意な信号指示は認められなかった。

有意な信号が認められた箇所について、超音波探傷試験を行った結果、最大指示長さ約17mmのところ、最大指示深さ約13mm(管台部の厚さ:約81mm)の傷と評価された。また、エッチング観察^{※3}の結果、傷は主に600系ニッケル基合金溶接部に認められたが、ステンレス製短管(セーフエンド)部にも認められた。

最大指示長さの傷についてスンプ観察^{※4}を行った結果、長さ約3~5mmの複数の割れが軸方向に断続的に存在し、溶接部内の結晶境界^{※5}に沿った割れであった。また、セーフエンド部の傷についてスンプ観察を行った結果、金属結晶の粒界に沿って枝分かれした割れが複数認められた。

このことによる周辺環境への影響はなかった。

[平成19年9月25日、10月18日 記者発表済]

- ※1 SGの出入口管台部では、SG(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、SGの出入口端部(低合金鋼製)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 溶接部に金属球(ショット)を高速で叩き付けることにより、溶接部表面の引張り残留応力を圧縮応力に改善する工事。
- ※3 金属の表面を磨いた後、しゅう酸水溶液等により表面を腐食させ、溶接部や母材部などの金属組織の違いを出現させて光学顕微鏡等で観察する方法。
- ※4 金属の表面を磨いた後、検査面に膜(フィルム)を貼り付けて、微小な凸凹を転写させ、転写した膜(フィルム)を光学顕微鏡で観察する方法。
- ※5 溶接部では、熔融した金属が固まる際にできる柱状の結晶(デンドライト結晶)ができる。

1 原因調査結果

(1) 詳細観察結果

割れが発生した原因について詳細に調査するため、A－S Gの入口管台溶接部およびセーフエンド部の一部を切断し、試験研究機関に搬出して、破面観察や化学分析等を行った。

(600系ニッケル基合金溶接部)

- ・ 最大指示長さの傷について破面観察を行った結果、最大深さは約 11.5 mmで、応力腐食割れに特有な結晶境界に沿った割れが認められた。
- ・ 溶接金属の化学分析を行い、製造時のミルシート（材料成績書）と相違がないことを確認した。
- ・ 表面の残留応力を測定した結果、応力腐食割れが発生する可能性がある引張り応力（約 300 MPa）を超える残留応力が、周方向（約 280～480 MPa）および軸方向（約 70～350 MPa）に認められた。
- ・ 表面の型を取り観察した結果、周方向に筋状の跡が等間隔で確認された。

(セーフエンド部)

- ・ 周方向と軸方向の複数の微小な割れが確認され、破面観察を行った結果、表層部（最大深さ：約 0.9 mm）で、結晶粒界に沿った割れが認められた。
- ・ セーフエンド部金属の化学分析を行い、製造時のミルシート（材料成績書）と相違がないことを確認した。
- ・ 表面の残留応力を測定した結果、周方向に約 570 MPa、軸方向に約 350 MPa の引張り応力が確認された。
- ・ 表面の型を取り観察した結果、溶接部表面と同様の、周方向に筋状の跡が等間隔で確認された。

(2) 製造履歴の調査

第14回定期検査（平成3年～平成6年）で、S G取替工事を実施しており、当該S Gは平成3年10月～平成6年2月に製作され、その時に工場でS G管台部とセーフエンド部の溶接作業が行われていた。溶接作業後、溶接で生じた内面の凸凹を切除するとともに、管台部とセーフエンド部の段差をなくすため、溶接部およびセーフエンド部の内面を金属製の刃を周方向に回転させ切削加工していた。また、切削加工後、溶接部および溶接部近傍のセーフエンド部について浸透探傷検査を行い、異常がないことを確認していた。

なお、A－S GとB－S Gの製造方法について確認した結果、相違は認められなかった。

(3) 切削加工による影響調査

切削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、内面を切削加工して目視観察したところ、当該部で認められたものと同じ周方向に筋状の跡が等間隔で確認された。また、残留応力を測定したところ、当該部と同様に、周方向に大きな引張り残留応力が確認された。

2 推定原因

600系ニッケル基合金溶接部については、

①環境（高温の1次冷却材水質環境）

②材料（応力腐食割れの感受性のある600系ニッケル基合金）

③応力（溶接および切削加工による引張り残留応力）

の三因子が重畳し、応力腐食割れが発生したものと推定された。

また、セーフエンド部の割れについては、当該部で確認された高い引張り残留応力による影響の可能性が高いものと推定された。

3 対策

- ・ A－S Gの入口管台については、セーフエンド部も含め、新品に取り替え、耐応力腐食割れ性に優れた690系ニッケル基合金で溶接し、念のため、研磨加工※⁶を行い、引張り残留応力を低減させる。また、セーフエンド部についても研磨加工を行い、引張り残留応力を低減させる。

※6 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。

- ・ 傷が認められなかったA－S Gの出口管台およびB－S Gの出入口管台については、引張り残留応力を低減させるため、ショットピーニング工事を実施する。
- ・ セーフエンド部の割れについて、当該部を模擬した試験片による再現試験などを行い、知見拡充を図る。

これらの対策工事には、数ヶ月を要し、原子炉起動は今年夏頃となる見込みである。

（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 —

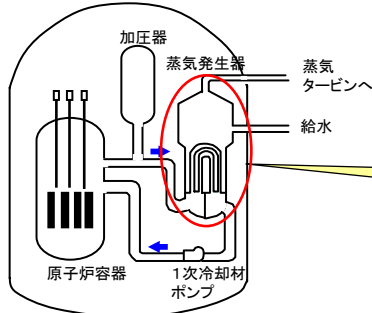
I N E S : 国際原子力事象評価尺度

問い合わせ先(担当：藤内)
内線2354・直通0776(20)0314

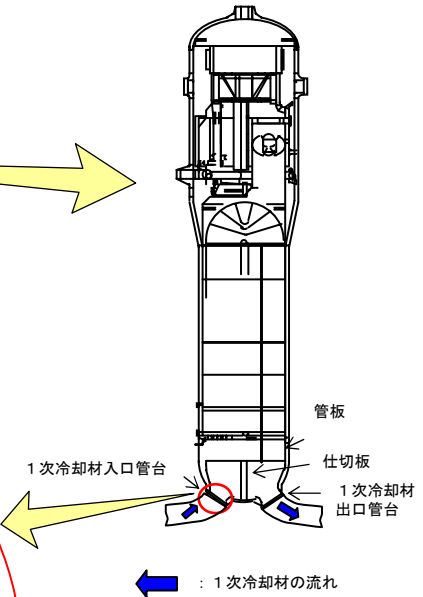
美浜発電所2号機の定期検査状況について (A-蒸気発生器入口管台溶接部での傷の原因と対策)

発生箇所

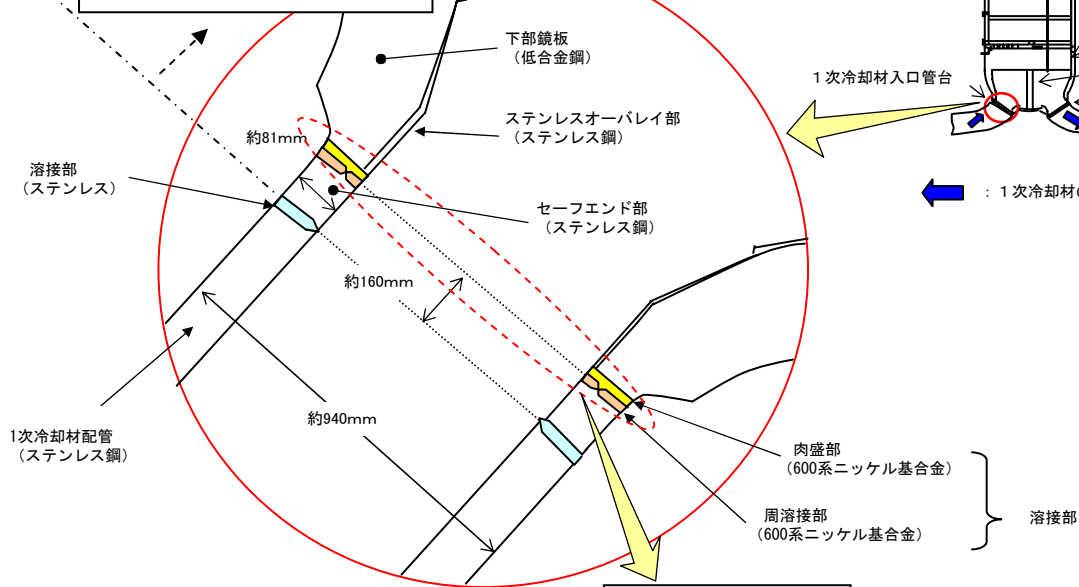
系統概略図
原子炉格納容器



A-蒸気発生器構造図

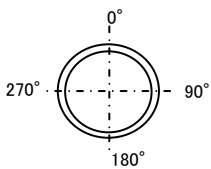


第14回定期検査(H3~H6)時の
蒸気発生器取替え範囲

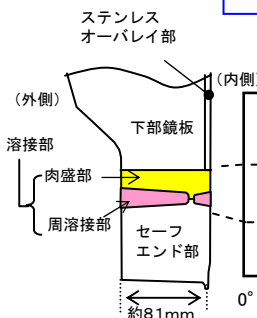


点検結果

蒸気発生器側から見た図
(天を0°とする)



断面図



(工事計画認可申請書記載値: 75mm)

ECT・PT結果(有意な指示箇所)

No.1

No.2

No.7

No.11

No.8,10

No.3,12

No.4

No.5,9

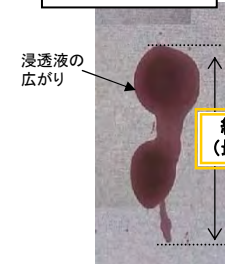
No.6

No.13

詳細観察箇所

□ : 超音波探傷試験で傷の深さが検出できなかった。

PT指示模様



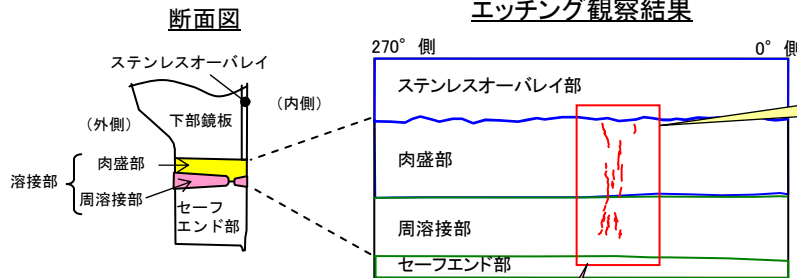
約17mm
(最大長さ)

○超音波探傷試験による
深さ評価結果
約13mm(最大深さ)

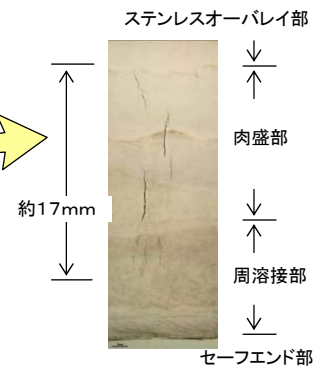
溶接部の観察結果

- 長さ約3～5mmの複数の割れが断続的に存在していた。
- 溶接部内の結晶境界に沿った割れであった。

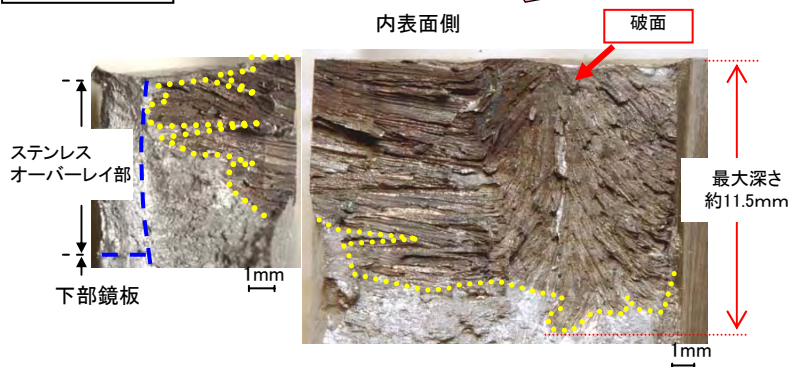
No4(最も傷が深かった箇所)のエッチング観察結果



スンプ観察結果



破面観察



- 最大深さ約11.5mmで結晶境界に沿って進展していた。

溶接部の型取観察結果

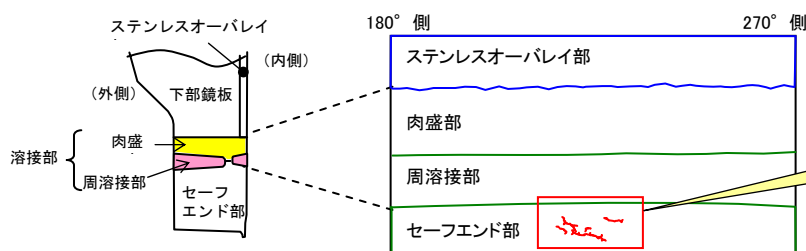


- 切削加工の跡が認められた。

セーフエンド部の観察結果

- 金属結晶の粒界に沿って枝分かれした割れが複数認められた。

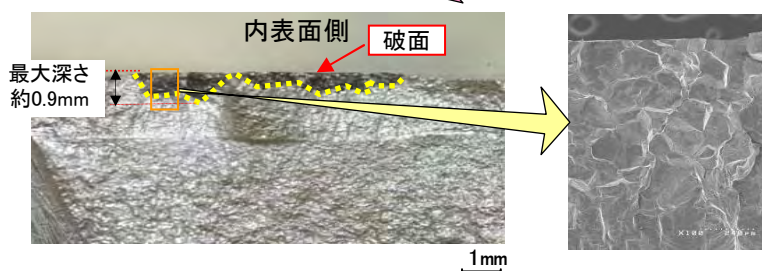
No13のエッチング観察結果



スンプ観察結果

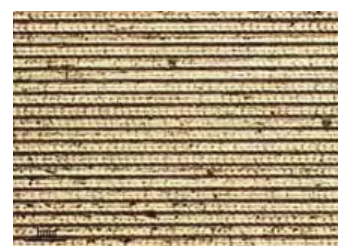


破面観察



- 最大深さは約0.9mmで金属結晶の粒界に沿って進展していた。

セーフエンド部の型取観察結果

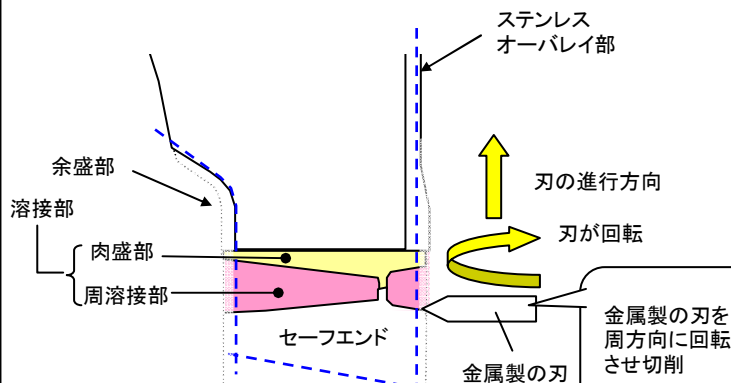


- 切削加工の跡が認められた。

切削加工

【製作時の切削加工】

---:溶接等による内表面の凸凹を除去するために
切削装置により切削加工した箇所



再現試験した切削加工跡

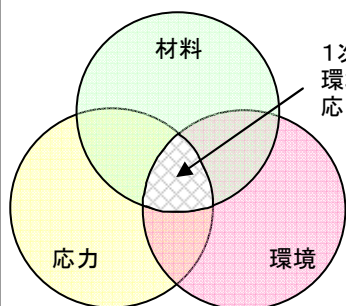


○実機の当該部を型取りしたものと同様の切削加工跡が確認された。

○残留応力測定結果、
周方向に大きな引張残留応力が確認された。

推定原因

溶接部



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: 溶接および切削加工による引張り残留応力

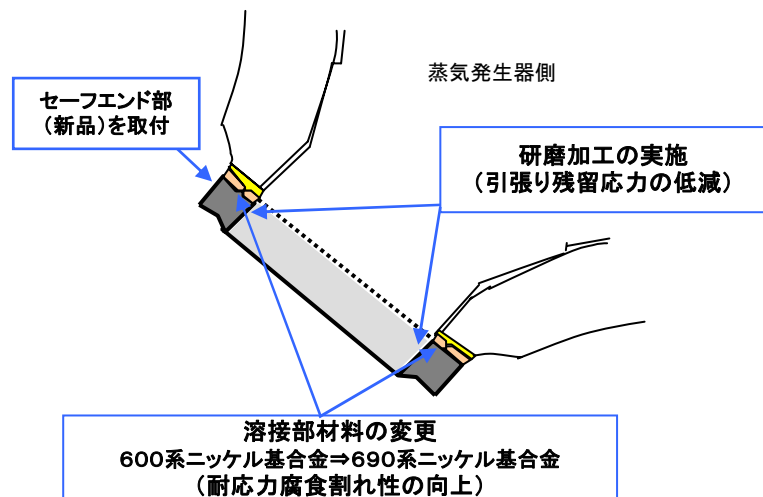
三因子が重畳し、1次冷却材中の環境下における応力腐食割れが発生したものと推定

セーフエンド部

○セーフエンド部の割れについては、当該部で確認された高い引張り残留応力による影響の可能性が高いものと推定された。

対 策

【セーフエンド部溶接取付】



【配管(エルボ)部溶接取付】

