

# 東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所第1号機における原子炉冷却材再循環系配管の欠陥に関する評価の妥当性確認の結果について

平成18年4月24日

原子力安全・保安院

原子力安全・保安院（以下、「当院」という。）は、電気事業法第55条第3項の規定により、平成18年4月19日に東京電力株式会社から報告のあった、柏崎刈羽原子力発電所第1号機第14回定期検査期間中に確認されたオーステナイト系ステンレス鋼製原子炉冷却材再循環系配管〔SUS316(LC)材〕（以下、「PLR配管」という。）の欠陥に関する評価の対象、方法及び結果について評価を行い、その結果妥当であることを確認した。

## 1. 事業者における評価年月日

平成18年4月6日

## 2. 評価の対象

第14回定期検査期間中に応力腐食割れ（以下「SCC」という。）の予防保全対策として高周波誘導加熱応力改善法（以下「IHSI」という。）を施工した後に超音波探傷試験を実施した際に確認された欠陥4箇所（溶接継手番号661-401-F01で2箇所、溶接継手番号661-401-F13で2箇所）について評価されており、当院は評価対象範囲が妥当であると判断した。

## 3. 評価の方法

評価の対象について、事業者は経済産業省原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備における破壊を引き起こすき裂その他の欠陥の解釈について」（平成18年3月23日付け平成18・03・20原院第2号、以下「欠陥の解釈」という。）に従って欠陥の発生原因並びに、き裂の形状と大きさについて評価しており、当院はその方法が妥当であると判断した。

発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（昭和四十年通商産業省令第六十二号。以下、「省令」という。）第九条の二の規定に適合しなくなると見込まれる時期を特定するための欠陥の進展評価については、事業者は、欠陥の解釈に則り「発電用原子力設備規格 維持規格（2002年改訂版）JSME S NA1-2002」（以下「維持規格（2002年改訂版）」という。）EB-4000により評価しており、当院はその方法が妥当であると判断した。

また、当院は、第14回定期検査中に施工されたIHSIの施工条件を確認したところ、(財)発電設備技術検査協会における確性試験報告書「オーステナイト系ステンレス鋼管等の高周波加熱による応力緩和方法 確性試験報告書」（16確S3号、平成16年9月、財団法人 発電設備技術検査協会）のIHSI施工における管理値の各項目（内面水冷、最高加熱温度、加熱コイル幅、加熱時間、内外面の温度差、溶接線位置とコイルの位置関係）の条件を満足していることから、IHSI施工後の配管内面及び欠陥近傍付近における板厚方向の応力は圧縮になっていると想定する。加えて、独立行政法人原

子力安全基盤機構（以下、「機構」という。）において、事業者が有限要素法により解析した溶接残留応力の板厚方向の分布結果を用いてＳＣＣによる欠陥の進展評価を実施し、評価期間中において応力拡大係数が $K < 0$ となることを確認している。従って当院は、事業者がＳＣＣによる欠陥の様な進展性は無いとして、疲労による欠陥の進展評価を実施した方法は妥当であると判断した。

(1) 欠陥の発生原因

事業者は、第１２回定期検査時から継続して実施してきた超音波探傷試験の結果及びＰＬＲ配管におけるＳＣＣの発生事例と発生条件から、欠陥の発生原因を推定している。

(2) 欠陥の形状、大きさ

事業者は、欠陥の深さ、形状を把握するために欠陥の解釈に従い超音波探傷試験を行い、その形状及び大きさを確定している。

(3) 欠陥の進展評価

事業者は、当該２継手の欠陥に対するＩＨＳＩによる応力改善措置の有効性について、（財）発電設備技術検査協会における確性試験によりＩＨＳＩ施工中に欠陥が進展しないこと、及び欠陥近傍において残留応力が改善されることを確認している。

また、当該２継手のＩＨＳＩ施工において、内外面温度差、コイル巾及びコイル被り代について、内表面で圧縮になるために必要と評価される管理値を満足していること、並びに確性試験において残留応力の改善効果が確認された試験体の施工条件よりもＩＨＳＩの効果の有する条件となっていることを確認し、当該２継手の欠陥近傍の応力においても確性試験と同様に改善されているものと評価している。

また、確性試験において模擬したＳＣＣの欠陥深さは約４mm程度であるが、今回事業者が超音波探傷試験で測定した欠陥の最大深さに測定精度を考慮して４.４mmを加えた欠陥深さは１０.３mmである。しかし、事業者が有限要素法を用いて解析したＩＨＳＩ施工後の板厚方向における応力分布では、板厚の半分程度（約２０mm）まで圧縮となると評価されており、欠陥の深さが１０.３mmであっても確性試験結果と同様に欠陥先端付近の応力場は十分圧縮となっているとしている。

よって事業者は、配管内表面から欠陥の先端付近まで十分に圧縮応力となっている状態では応力拡大係数が $K < 0$ となることから、ＳＣＣによる欠陥の様な進展性は無いとして、疲労による欠陥の進展評価を以下の方法で実施している。

a. 評価期間

プラント寿命を６０年と想定し、運開後から現在までの経過時間である約２０年の経過から、評価期間を４０年と定めている。

b. 負荷条件

疲労による欠陥の進展として溶接残留応力、内圧、自重及び熱による荷重に加え $1/3S_1$ の地震力を考慮している。

なお、溶接残留応力は有限要素法を用いた解析結果による値を採用している。

c. 欠陥のモデル化

超音波探傷試験による欠陥深さの測定結果に対し、欠陥の解釈に従い 4.4mm を加算した上で、アスペクト比が 0.5 以上となる欠陥に対してはアスペクト比が 0.5 となる欠陥としてモデル化し欠陥の長さ及び深さ方向の進展を考慮している。

d. き裂進展速度

疲労によるき裂進展速度として、維持規格（2002年改訂版）の EB-4340 「き裂進展速度」に基づき、添付 E-2-7 の「オーステナイト系ステンレス鋼の BWR 通常一次系水質環境中の疲労き裂進展速度」に定めるものを適用している。

e. 応力拡大係数

維持規格の EB-4360 「応力拡大係数」及び添付 E-5 [応力拡大係数の算出]のうち、「5.3 表面欠陥に対する算出法」を適用し、溶接残留応力の板厚分布、内圧、自重、熱膨張、及び地震荷重による応力は膜応力とし、肉厚内外面温度差に起因する応力は板厚方向の分布を考慮して応力分布を求め、半楕円のき裂形状を仮定して応力拡大係数を算出している。

(4) 省令第九条の二の規定に適合しなくなると見込まれる時期

事業者は、維持規格（2002年改訂版）に従い以下の様に破壊評価を行い、省令第九条の二の規定に適合しなくなると見込まれる時期について評価している。

a. 破壊評価の方法

維持規格（2002年改訂版）の EB-4420 の規定に従い、同 EB-4440 に規定される「弾塑性破壊力学評価法」及び添付 E-9 「弾塑性破壊力学評価法」に従い評価している。

b. 負荷条件

維持規格（2002年改訂版）の EB-4410 「負荷条件」及び添付 E-7 「欠陥評価に用いる荷重」に従い、荷重条件は供用状態 A, B 及び地震荷重を考慮した供用状態 C, D で最も厳しい荷重を仮定し、原子炉冷却材再循環系配管に加わる内圧、自重、熱膨張及び地震荷重 ( $S_1$ ,  $S_2$ ) を考慮して評価している。

#### 4. 評価の結果

事業者は前項の方法に従って評価を行い、以下の様な結果を報告しており、当院は事業者の評価結果を確認するとともに、欠陥の進展評価結果を独自に確認し、その結果が妥当であると判断した。

(1) 欠陥の発生原因

事業者は、今回確認された 4 箇所（2 継手）の欠陥について、第 12 回定期検査時から継続して実施した超音波探傷試験の結果、基本探傷でのエコー高さには有意な変動が見られなかったことから進展性のない欠陥である可能性が考えられると推定している。また、事業者は当該 2 継手について PLR 配管の SCC 事例と材料条件、環境条件、及び応力条件が類似していることから、今回確認された 4 箇所の欠陥について、SCC により発生した欠陥である可能性が考えられるとも推定している。

なお、欠陥の発生原因について進展性のない欠陥及びＳＣＣにより発生した欠陥の両方の可能性を推定していることから、事業者は欠陥の進展評価の方法においてＳＣＣによる欠陥の可能性を考慮している。

## (2) 欠陥の形状、大きさ

事業者は、超音波探傷試験の結果から当該２継手で確認された欠陥について確認し、その深さ及び周方向に沿った長さを以下のとおりとしている。

継手番号	No.	深さ (mm)	長さ (mm)
661-401-F01	1	4.3	12
	2	5.9	41
661-401-F13	1	4.7	20
	2	4.7	11

欠陥の形状、大きさについては、機構が定期検査において事業者が実施した超音波探傷試験結果を確認しており、この結果から以上の測定結果は妥当であると確認している。

## (3) 欠陥の進展評価

事業者は、評価の方法に従い疲労による欠陥の進展評価を行った結果、評価期間である４０年後の欠陥は、深さ及び長さともに変化しないと評価している。

疲労による欠陥の進展評価については、機構によるクロスチェックの結果、事業者の報告内容と同様に４０年後において欠陥の深さ及び長さともに変化しないことを確認している。また、ＳＣＣによる欠陥の進展評価を実施した結果、評価期間中において応力拡大係数が $K < 0$ となることから、４０年後においても欠陥の深さ及び長さ変化しないことを併せて確認している。

## (4) 省令第九条の二の規定に適合しなくなると見込まれる時期

事業者は、評価期間後の欠陥の進展評価結果を用いて、維持規格（２００２年改訂版）に従い許容欠陥寸法の限界による評価および許容応力による評価を行い、許容欠陥寸法に達しないこと、及び評価期間後の作用曲げ応力が、許容曲げ応力を下回ることを確認している。よって、４０年後においても省令第九条の二の規定に適合するとしている。

省令第九条の二の規定に適合しなくなると見込まれる時期については、機構によるクロスチェックの結果、事業者と同等の結果であることを確認している。

## 5. 評価の結果に基づく補修等の措置

当院は、現在の知見からＩＨＳＩ施工後の配管内面および欠陥近傍付近における板厚方向の応力は圧縮になっていると想定し、欠陥の進展解析における４０年間の評価期間中において応力拡大係数が $K < 0$ となることを確認した。従って当院は、事業者が当該２継手について欠陥の解釈に則った継続検査を実施するとしていることから、その補修等の措置は適切であると判断した。