

材料部会セッション

軽水炉の再稼働と健全性確保に向けた材料工学の役割

Roles of Materials Science and Engineering for Restart and Ensuring the Integrity of LWRs

(3) PWR プラントにおける SCC 事例と対策

(3) SCC Experience and Countermeasures in PWR Power Plants

*杉本 憲昭¹¹三菱重工業株式会社**1. 緒言**

原子力発電所を始めとしてトラブルの未然防止は重要なテーマであり、プラントの高経年化に伴う圧力容器や配管などの構成部位の余寿命診断、劣化緩和、補修も重要な課題となっている。運転時間に伴い損傷が顕在化するものとして応力腐食割れ（Stress Corrosion Cracking : SCC）があり、損傷の要因として、環境、材料、応力の3因子の重畳によるものと考えられている。近年、加圧水型原子炉（Pressurized Water Reactor : PWR）においても、高ニッケル合金 600（以下 600 合金）の応力腐食割れによる損傷事例が国内外において顕在化してきている。PWR プラント 1 次系水環境条件下での応力腐食割れは PWSCC（Primary Water SCC）と言われ、PWSCC 感受性を有している 600 合金が加工や溶接などによる高残留応力条件下で使用される場合に、損傷に至るものと考えられている。

長期安定運転に向け損傷・漏えいを防止するための劣化緩和として、応力改善技術、材料改善・取替技術の代表的な保全技術を述べる。

2. PWR プラントにおける SCC 対策**2-1. 応力改善技術**

PWSCC 発生因子の一つである高残留応力への対策の一つとして、対象機器が施工時に気中環境の場合はショットピーニング、水中環境の場合はウォータジェットピーニングを適用し、1 次系水接液面の引張残留応力を圧縮応力に改善している。ウォータジェットピーニングではキャビテーション崩壊時の衝撃圧にて、ショットピーニングではショット材の衝突力にて、材料表面に塑性ひずみを付与することで、内表面近傍を圧縮応力に改善できることを確認している。ショットピーニングにおいては深い応力改善効果と異物管理の容易化などを目的に、粒径の大きいショット材を用い、ショット材の駆動源としてコンパクトで大きな力を出せるピエゾ素子による超音波振動を用いた手法がある。

一方、配管など内表面にアクセスが困難な場合、外面からの応力改善手法が必要であり、その手法の一つとして、高出力レーザービームを外面に移動させながら照射し、外面を急速加熱することで板厚内温度差による熱膨張ひずみを用い、内面を圧縮応力に改善する手法（レーザー外面照射応力改善法）を開発している。この手法はレーザー照射による急速加熱を実現できることから、適切な条件を選定することにより内面の水冷効果を期待することなく、適用可能とする特徴を持つ。内表面の溶接部及び溶接部近傍の高い引張残留応力を圧縮応力に改善できることを確認している。

2-2. 材料改善・取替技術

材料を変更して 1 次系水接液表面に耐 PWSCC 性の優れた材料である高ニッケル合金 690（690 合金）を用いる対策がある。690 合金は 600 合金に対しクロム（Cr）量をおよそ倍量に増加させることで耐 PWSCC 性を向上させている。

* Noriaki Sugimoto¹

¹ Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

具体的には1次系水接液表面に肉盛溶接することで、600合金を接液させないようにする環境遮断クラディングと、取替による材料改善がある。劣化緩和技術の原子炉容器出口管台セーフエンド継ぎ手（600合金）への適用例として、原子炉容器ノズル溶接部へのインレイ技術がある。流路確保や検査性確保のため、あらかじめ溝加工を行い、肉盛溶接を実施している。溶接後熱処理を不要にできる自動溶接による3層テンパービードクラッド溶接法を開発し実機に適用している。

耐 SCC 性の優れた材料を用いて製作した機器への一体取替としては、上部原子炉容器取替、蒸気発生器取替、炉内構造物取替等がある。一方で、一体取替が困難な場合や万一の損傷時の補修として、部分取替（例えば管台セーフエンド継ぎ手取替など）技術も開発している。部分取替は補修だけでなく、予防保全としての材料改善手法の一つとしても計画されている。一例として、加圧器台セーフエンド継ぎ手取替技術がある。600合金継ぎ手を含む短管を撤去し、新たな短管を取付ける際に耐 SCC 性の優れた 690合金溶接材料にて溶接する方法である。

3. 結言

応力改善技術、材料改善・取替技術の保全技術について述べたが、これら保全技術によって原子力発電プラントの安全性と信頼性を向上させ、長期間の運転にわたって経済的に運転を継続するのに役立つものとする。今後とも、検査技術、劣化緩和・補修取替などの開発・検証を積極的に推進し、高度化・高性能化を進めていく。

参考文献

- [1] Koji Okimura et al., “RELIABILITY OF WATER JET PEENING FOR ALLOY 600 PWSCC MITIGATION”, ASME PVP2012-78468.
- [2] Takeshi Yamamoto et al., “APPLICATION OF USP TO STEAM GENERATOR NOZZLES”, ASME PVP2011-57495.