

志賀原子力発電所 1号機 高周波誘導加熱による配管応力改善工事について

Induction Heating Stress Improvement for pipe of primary loop recirculation system
at Shika Nuclear Power Station Unit 1

北陸電力株式会社	倉田 勝	Masaru KURATA	Member
北陸電力株式会社	森本 英光	Hidemitsu MORIMOTO	Non Member
北陸電力株式会社	座主 正貴	Masaki ZASU	Non Member
北陸電力株式会社	根上 司	Tsukasa NEGAMI	Non Member

Significant numbers of intergranular stress corrosion cracking incidents have occurred in welded austenitic stainless steel of primary loop recirculation system piping in boiling water reactors. This crack was also occurred in Shika Nuclear Power unit 1. This time, stress improvement processing by high frequency guidance overheating has been performed as preventive maintenance to the weld line with which we are anxious about generating of stress corrosion cracking among the weld lines of primary loop recirculation system piping. The principle, a procedure, and a result are introduced in this paper.

Keywords: Shika Nuclear Power Station, Induction Heating Stress Improvement

1. 緒言

平成 14 年頃より、国内の BWR 原子力発電所において低炭素ステンレス鋼で製作された原子炉再循環系の配管およびノズル部（以下、PLR 配管等という）に応力腐食割れ（以下、SCC という）が確認されている。

弊社志賀原子力発電所 1 号機では、平成 25 年度から 26 年度にかけて、この事象の対策として有効な「高周波誘導加熱による応力改善処理（以下、IHSI という）」を PLR 配管等に施しており、本稿ではその原理、実施内容について紹介する。

2. IHSI 原理

SCC は、材料、応力、環境の 3 つの要素が重畳した場合に発生する事象であり、この 3 要素のうち 1 つを改善することで発生を防止することができる。IHSI は応力の要素について改善するものである。

IHSI の原理は、対象の配管溶接部に対して配管内面を水流で冷却しつつ、外面に設置した高周波誘導加熱コイルにより加熱し、配管の肉厚方向に温度勾配を形成させる。この温度勾配によって塑性ひずみを生じさせ、加熱停止後は配管内面側に圧縮応力を発生させる。この作用により、配管内面側の残留引張応力を低減または圧縮側にすることで応力の要素を改善する方法である（図 1）。

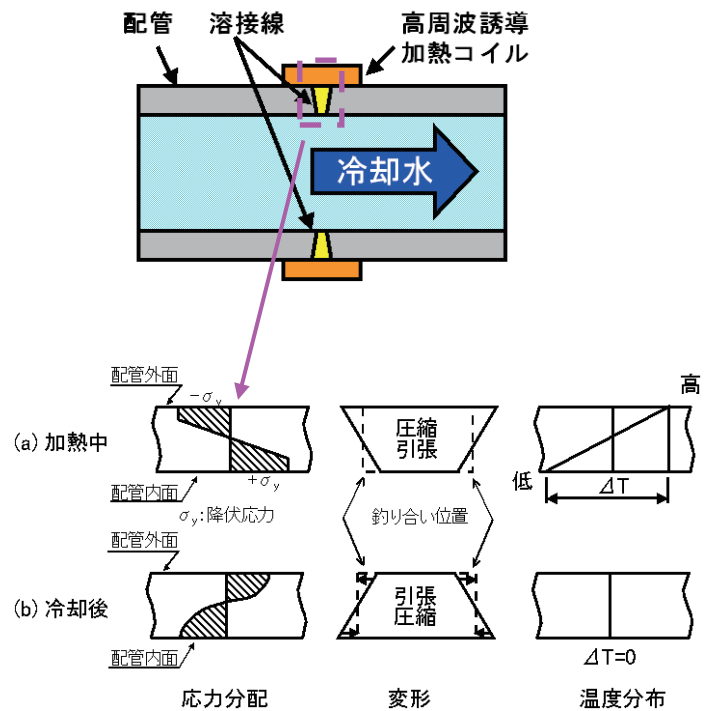


図 1 IHSI 原理概要

3. IHSI 実施内容

3.1 実施フロー

IHSI の手順は、日本原子力技術協会「予防保全工法ガイドライン[外面からの入熱による応力改善方法]」及び日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格」等を参考に以下のとおり実施した。

連絡先: 根上 司, 〒925-0141 石川県羽咋郡志賀町高浜町ニ 13-21, 北陸電力,
E-mail : tsukasa.negami@rikuden.co.jp

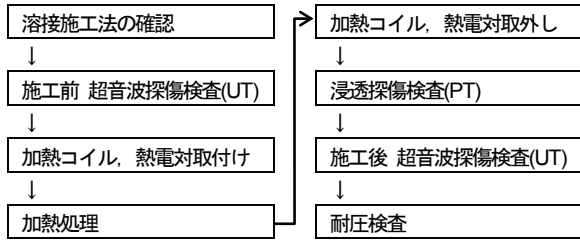


図2 IHSI実施フロー

3.2 基本支配因子

過去の粒界型 SCC に関する試験において、同 SCC は使用温度における耐力と同程度かこれより高い応力で発生が確認されており、残留引張応力が 100MPa 以下まで低減できれば SCC 発生抑制効果が期待できると考えられている[1]。

また、これまでに行われた IHSI の有効性を確認した確信試験により、効果に影響を及ぼす施工条件である基本支配因子として規定された材料、コイル幅、加熱時間、熱影響部での温度差、溶接線の位置、最高加熱温度について、要求値を満足する範囲で IHSI を施工した場合には、配管内面の残留引張応力が 100MPa 以下となることが確認されている。弊社ではこの試験において有効性が確認された基本支配因子を満足するよう施工した。表1に配管の基本支配因子を記載する。

表1 配管の基本支配因子

項目	内容
材料	P-8に区分される母材で、低炭素オーステナイトステンレス鋼、及びステンレス鋳鋼に限る。(炭素含有量 0.030%以下のもの。)
コイル幅(mm)	$L/\sqrt{Rt} \geq 2.7$
加熱時間(sec)	$a\tau/t^2 \geq 0.7$
熱影響部での温度差(°C)	$\Delta T \geq \frac{4(1-\nu)}{E\alpha} \sigma_y$
溶接線の位置(mm)	板幅の半分若しくは 15 mmの大きい方以下コイル端の内側
最高加熱温度	650°C以下

L : コイル幅, R : 管の平均半径(mm), t : 管の厚さ(mm)

a : 熱拡散率(mm²/sec), τ : 加熱時間, ΔT : 管内外面の温度差

ν : ポアソン比, E : 縦弾性係数(N/mm²), α : 線膨張係数 mm/(mm°C),

σ_y : 母材の降伏応力 (ミルシートにおける値)

3.3 施工管理

加熱を行う溶接継手の温度管理のため、熱電対を配管部で10点、ノズル部では12点取り付けました。配管部の一例として、溶接線を中心として左右に90度ピッチで4点、更にコイル位置等より最高温度となる2箇所計10点を設置している。

加熱に際しては、内外面の温度差が大きいほど塑性ひずみの発生による残留応力の低減効果が大きくなることから、最高加熱温度に近い値を目標として加熱を実施した。

また、各部を一樣に加熱することが可能であることを確認するため、加熱コイルおよび熱電対取付後に、配管の最高使用温度 (約 300°C) 以下の範囲で加熱を行い、温度上昇傾向を確認して必要であればコイル位置の調整を実施した。これにより、規定温度による加熱作業のやり直しはなく完了することができた。

熱影響部の温度差を管理するため、前述の施工条件のほか、冷却水流量、水温、加振周波数を確認しており、SCC 発生抑制効果を得ることができる条件で行われていることを確認している。

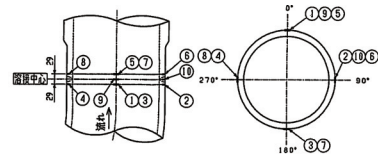


図3 熱電対設置位置 (配管部の一例)

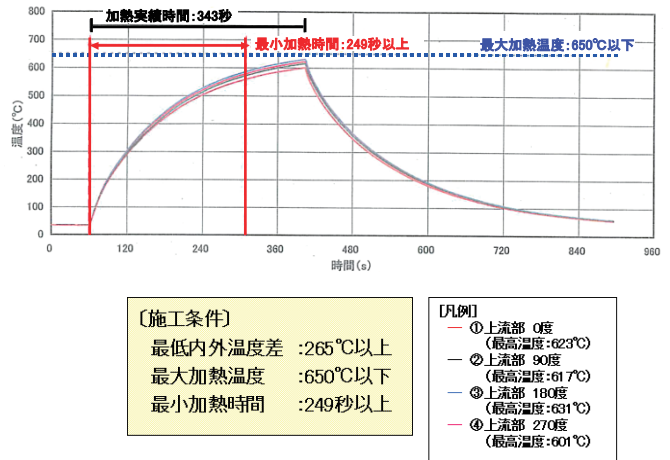


図4 IHSI実施結果 (口径 550A 配管部の一例)

4. 結言

志賀1号機については、PLR 配管等で実施した IHSI は耐圧検査以外の手順を完了した。また、加熱処理では施工条件を満足しており、施工後の PT, UT でも異常がないことを確認した。

参考文献

- [1] JANTI ガイドライン「予防保全工法ガイドライン[外面からの入熱による応力改善方法] (JANTI-VIP-02)」付録1.