

超音波ショットピーニングの BWR 炉内構造物への適用に向けた取組み

Application of Ultrasonic Shot Peening for Internals of Boiled Water Reactor Power Plants

株式会社 東芝	亀山 育子	Ikuko KAMEYAMA	
株式会社 東芝	大坪 徹	Toru OHTSUBO	Member
株式会社 東芝	須藤 和雄	Kazuo SUDO	
株式会社 東芝	榊田 祐貴	Yuuki MASUDA	
株式会社 東芝	山本 智	Satoshi YAMAMOTO	Member

Toshiba have developed a method of reactor internals replacement and also applied some of methods to improve the residual stress for internals that can't be replaced easily. Ultrasonic shot peening (USP) is a stress improvement method that improves the surface residual stress of heat affected zone by using the vibration of Ultrasonic wave. As the system of USP is simpler and more compact than the other methods, USP is applicable to welds on the bottom of reactor vessel during reactor internals replacement. In this paper, the efficiency of USP is verified as a stress improvement method and also usefulness is shown by the simulated results of the process of reactor internals replacement.

Keywords: stress improvement, USP, internals replacement, residual stress, SCC

1. はじめに

沸騰水型原子力発電プラント（以下、BWR）においては、プラントの経年劣化対策及び長寿命化へ向けた種々の保全技術が適用されている。炉内構造物の取替工事は最大規模の保全技術であり、応力腐食割れ（以下、SCC）の一要因である材料の改善を実施することが可能である。

一方、原子炉圧力容器（以下、RPV）のように取替が困難な構造物については既存溶接部近傍の SCC 対策として種々の応力改善技術が適用されている。超音波ショットピーニング（Ultrasonic Shot Peening 以下、USP）はそのひとつであり、原子炉底部の溶接部に対して、炉内構造物取替工事と併せて行うことを検討している。USP の施工原理を図 1 に示す。

本報では USP 適用に当たっての残留応力改善確認試験結果と現地における作業性検討結果について紹介する。

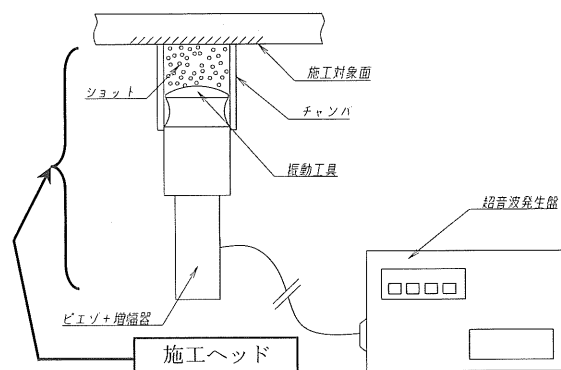


図 1 USP 施工原理

2. 原子炉底部への USP 適用検討

炉内構造物取替工事と同時に実施を計画している原子炉底部の溶接部は図 2 に示すように多様な複雑な形状となっている。また、対象溶接部の材料はニッケル基合金及びステンレス鋼の 2 種類がある。本項では、実機への USP の適用性を検証すべく実施した試験項目とその結果について述べる。

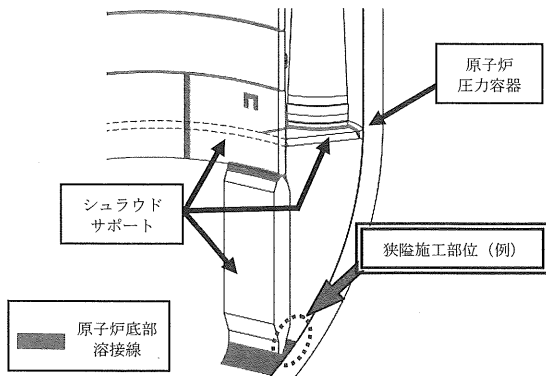


図2 RPV炉底部 USP 施工対象部

2.1 基礎試験による適用性検証

ピーニングによる応力改善では、少なくともニッケル基合金においては $200\mu\text{m}$ 、ステンレス鋼においては $100\mu\text{m}$ の深さで圧縮残留応力層を形成することが求められる[1]。USP 施工で管理すべき項目について、実機での施工性（施工ヘッドの設置性、投射距離等）を考慮した条件にて確認試験を行い、その効果を検証した。図3、4にはそれぞれ NCF600 及び SUS316L の平板試験片について USP 施工を行った部位の残留応力測定結果を示す。本結果より USP はいずれの材料に対しても深さ $500\mu\text{m}$ 以上の圧縮応力層が形成されており有効性を確認できた。

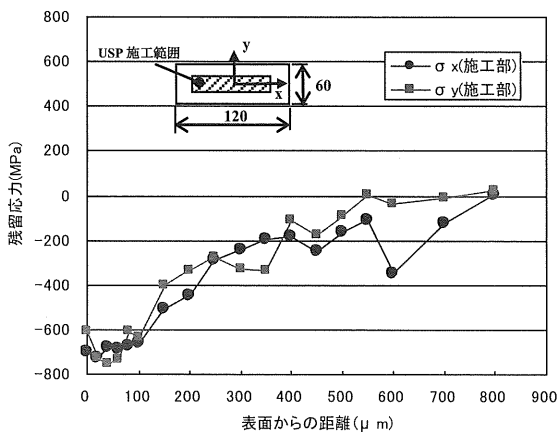


図3 残留応力測定結果 (NCF600 材 深さ方向応力分布)

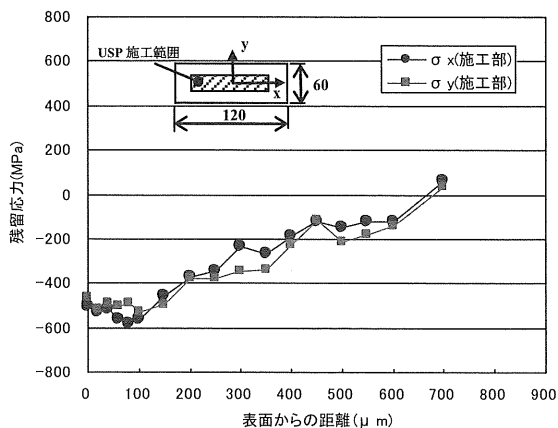


図4 残留応力測定結果 (SUS316L 材 深さ方向応力分布)

2.2 実機形状模擬試験による適用性検証

実機における対象部位は溶接ビードの凹凸や狭隘部等があり様々な形状となっているが、USP 施工は図2に示す全ての対象部位について確実に実施する必要がある。このため、形状や表面の特徴を考慮した試験片を用いて模擬試験を実施し、各部位に最適な施工条件を確立する必要がある。施工ヘッドの設置が困難な狭隘部位のうち、図2に示す施工部位を対象に実機形状を模擬し試験を行った結果を以降に示す。本試験においては図5に示す実機形状を模擬した試験片と、形状に合わせて設計した施工ヘッドを使用して USP の適用性検証を行うと同時に、実機向けの施工装置設計に必要な施工ヘッドのアクセス性や可動範囲等の条件についても確認を実施した。本試験で使用した試験設備及び試験装置を図6に示す。

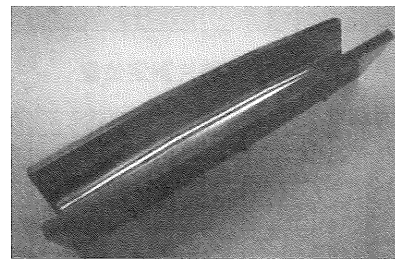


図5 実機形状模擬試験片 (NCF600/機械加工試験片)

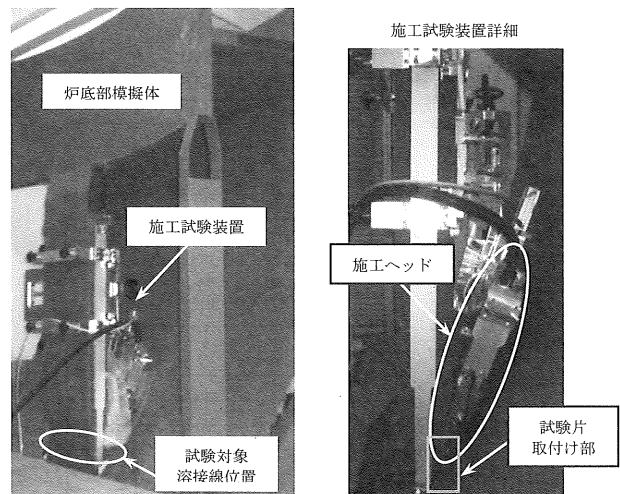


図6 USP 実機形状模擬試験設備

本試験にて対象とした部位は V 字形状になっており、施工時にはヘッドの位置や角度を形状に合わせて変更する必要がある。このため、施工条件のうち施工距離と角度は対象試験片内でも位置により異なっているが、その他の施工条件、例えばショットの材質や数量、超音波の周波数等は実機での作業性を考慮し同一条件とした。本試験で得られる応力改善効果は、施工距離と角度の違いにより傾向が異なると推定されるため、位置ごとの形状特性を反映した複数の代表点を抽出して測定を行った。測定位置と測定の結果を図7及び8に示す。

これらの結果から複雑形状においても深さ 200 μm 以上の圧縮残留応力層が形成されていることが確認でき、応力改善の効果が検証できた。

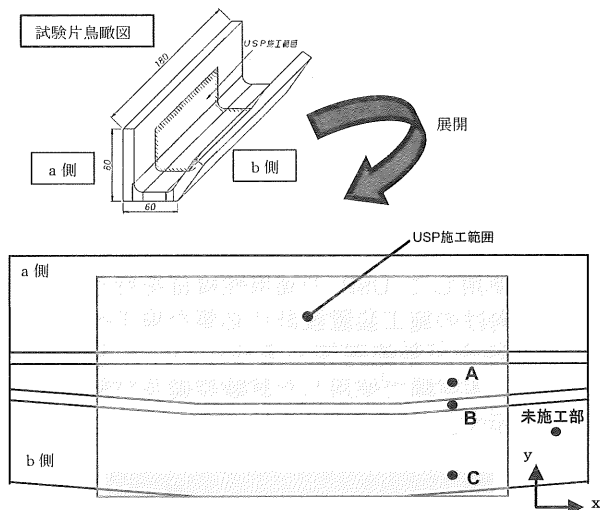


図7 試験片測定位置

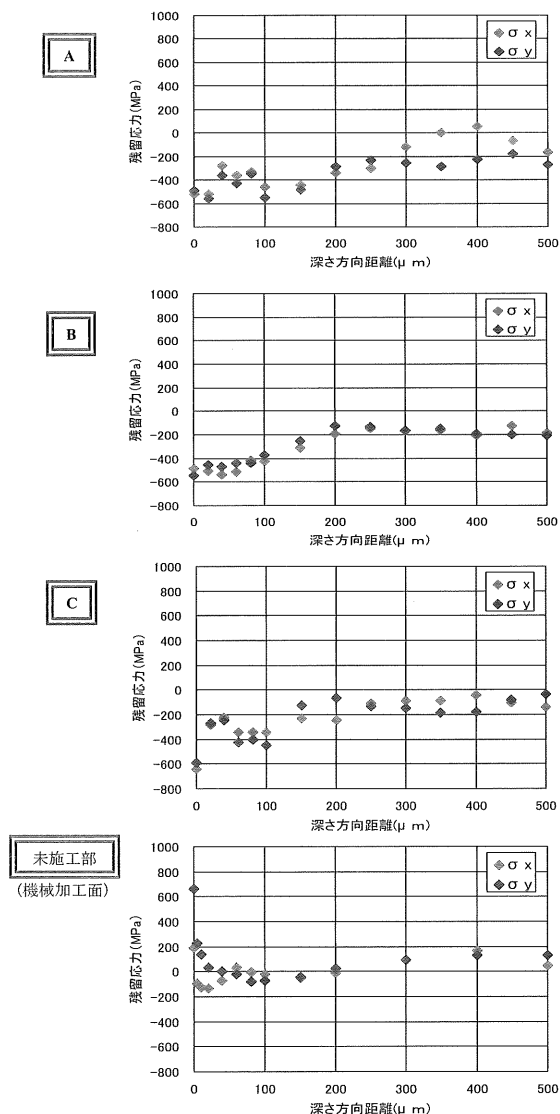


図8 残留応力測定結果
(深さ方向応力分布)

3. 実機適用時の作業性検討

炉内構造物取替工事は長期の定期事業者検査期間に実施されるが、プラントの停止期間を最短とするためには、工事期間を可能な限り短くすることが望まれる。特に取替工事の付随作業となる原子炉底部の応力改善工事については、取替工事の工程への影響を最小限にできる工法が望ましい。

そこで炉内構造物取替における応力改善工法として USP を適用した場合の工事期間の短縮方法について検討を行った。工程を短縮するためには
①炉内構造物取替作業と同時に USP を実施する
②USP の施工を複数箇所同時に行う

という二つの方法が考えられる。USP は、例えば従来実施されてきた応力改善工法のひとつであるショットピーニングと比較して、エアによるショットの搬送・回収系統等が不要なためシステムがコンパクトである。これを踏まえ施工手順や機材配置の検討を行った結果、上記①②のいずれの方法も適用可能であることが確認できた。検討結果の一例を図9に示す。図に示すような並行作業の実現により、応力改善工事の期間は従来工法と比較して約2割に削減することが可能であると考えている。

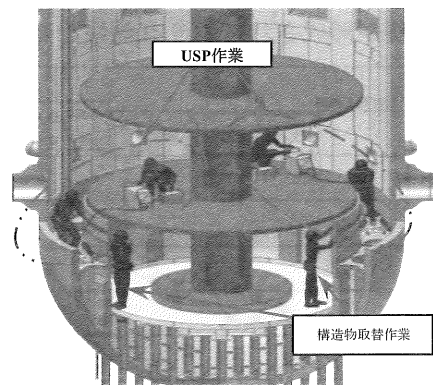


図9 並行作業検討結果

4. おわりに

炉内構造物取替工事における USP の適用性検討を実施した。施工の有効性を検証し、実機相当の形状に対しても USP が可能であることを確認した。また、実機での炉内構造物取替工事期間の短縮の観点から並行作業の検討を行った結果、応力改善作業期間の大幅な短縮が実現可能である見込みを得ることができた。

参考文献

- [1] 有限責任中間法人 日本原子力技術協会：JANTI-VIP-03 第2版 予防保全工法ガイドライン [ピーニング工法] 平成20年1月 (添付3 予防保全工法ガイドライン [レーザーピーニング工法] (解説 4-1) p.3-8)