

原子炉内構造物の溶接部に対する超音波検査技術

Ultrasonic testing techniques for inspection of BWR internal components welds.

日立 GE ニュークリア・エナジー (株)	長沼 潤一郎	Junichiro NAGANUMA
日立 GE ニュークリア・エナジー (株)	吉田 功	Isao YOSHIDA
日立 GE ニュークリア・エナジー (株)	小池 正浩	Masahiro KOIKE
日立 GE ニュークリア・エナジー (株)	米谷 豊	Yutaka KOMETANI
(株) 日立製作所	河野 尚幸	Naoyuki KOUNO

As nuclear power plants age, the importance of maintenance increases and there is a need to apply inspection technologies suitable to importance of each item of equipment. In boiling water reactors, advanced inspection technologies are expected for internal components, i.e. shroud supports with complex-shaped Ni-based alloy welds. As an inspection technology for field inspection of the shroud supports phased array technology has been mainly developed for sizing of Stress Corrosion Crackings accessed from the Reactor Pressure Vessel outer diameter side and inter diameter side.

Keywords: Ultrasonic testing, Ni-based alloy welds, Phased array, BWR internals

1. 緒言

国内の原子力発電所においては運転年数が 30 年を超える高経年化プラントが増加し、溶接部には応力腐食割れ (Stress Corrosion Cracking、以下 SCC と略記) の発生が顕在化しており、予防保全工事も行われている。沸騰水型原子炉 (Boiling Water Reactor、以下 BWR と略記) の原子炉圧力容器 (Reactor Pressure Vessel、以下 RPV と略記)、炉内構造物、配管などに対し、健全性評価、補修を考慮した精度の高い検査技術が求められているが、当社では各検査部位に適した信頼性の高い、高度検査技術開発を進めている。本報告では炉内構造物と RPV との溶接部を対象とした検査技術について述べる。

2. 炉内構造物の検査技術

Fig. 1 に沸騰水型原子炉の鳥瞰図と炉内構造物の一例であるシュラウドサポートの模式図を示す。炉内構造物の健全性を確認するため、通常、水中テレビカメラを用いた目視検査を実施している。目視検査でひびが確認された場合、ひびの寸法を測定し、その結果をもとに健全性を評価し、必要に応じて補修を行うこととなる。

連絡先:長沼潤一郎、〒317-0073 茨城県日立市幸町 3-1-1、日立 GE ニュークリア・エナジー(株)、電話: 0294-55-5950、e-mail:junichiro.naganuma.vt@hitachi.com

ひびの寸法測定には、渦電流検査、超音波検査 (Ultrasonic Testing、以下 UT と略記) が用いられ、渦電流検査では一度のセンサ走査で広範囲の曲面を検査可能なフレキシブルマルチコイルセンサを用いて、ひびの表面長さを測定し、UT では主にフェーズドアレイ法にてひびの深さを測定している。

以下では、UT 技術について詳細に述べる。

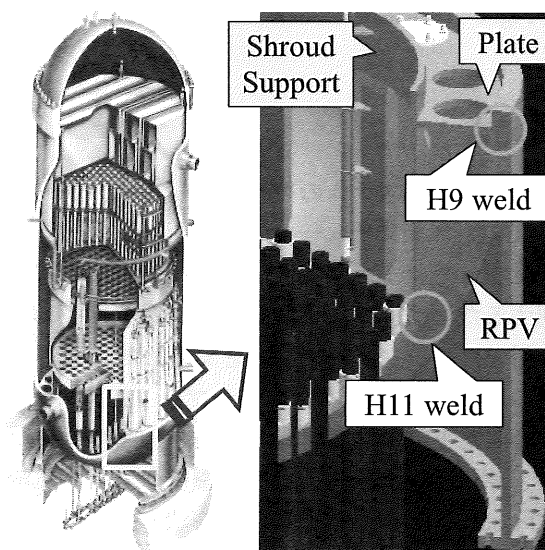


Fig. 1 BWR bottom head area

3. ひびの深さ測定のための UT 技術

炉内構造物の溶接部である H9 溶接部、H11 溶接部 (Fig. 1 参照) は RPV に直接溶接された部位であり、この部位の検査は構造強度評価の観点から重要である。これらの溶接部にひびが生じた場合、RPV の内面 (炉内側) および外面 (炉外側) からのひびの寸法測定を想定し、超音波によるひびの深さ測定技術を確認した [1]。

3.1 RPV 内面からの UT 技術

従来、BWR 原子炉内構造物の溶接部に対する UT は RPV の内面から実施している。検査は、溶接部の表面形状と試験対象部位の有効な深さ範囲への超音波伝播効果を考慮して、適切な UT 手法を選択する必要があるが、複雑形状の溶接部であるシュラウドサポート H9 および H11 溶接部では、超音波ビームの焦点範囲が溶接部の曲面の影響により検査範囲を満足しない事象が発生する。(Fig.2 参照)

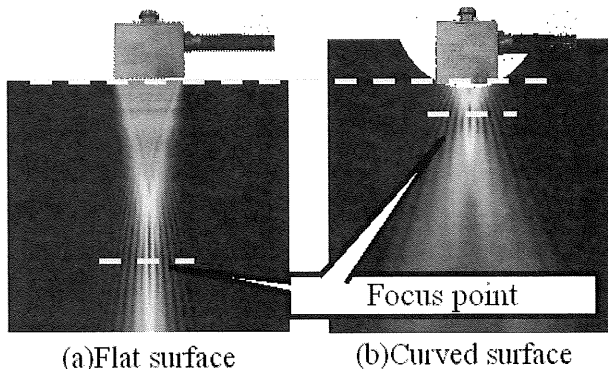


Fig. 2 Effect of beam focus on curved surface

そこで、このような表面形状が曲面となる溶接部については、アレイ探触子に音響レンズを用い、その有効性を確認した。超音波ビームに対する音響レンズの効果を Fig.3 に示す。

音響レンズは、ビームの焦点ポイントをより深くして、広範囲でひびの深さの測定を可能にした。

Fig. 4 に H9 模擬試験体に対する RPV 内面 UT によるひび深さの測定結果を示す。図中の Vertical は溶接線に対して直交方向に付与された SCC の測定結果を示し、Horizontal は溶接線に平行に付与された SCC の測定結果を示す。RPV 内面 UT では、音響レンズを利用することによって、溶接部に付与した SCC を開口面側から深さ約 30mm までのひび深さ測定が可能であることを確認した。

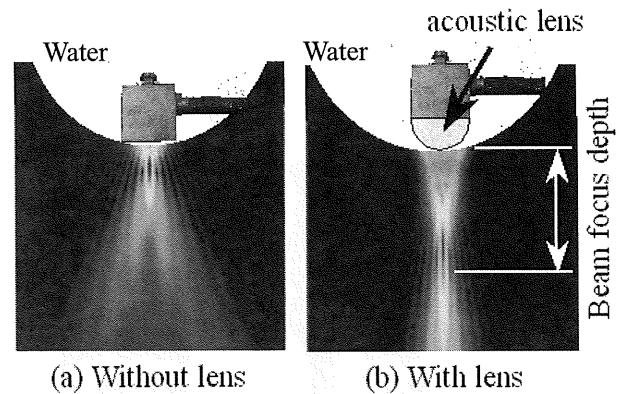


Fig. 3 Effect of acoustic lens

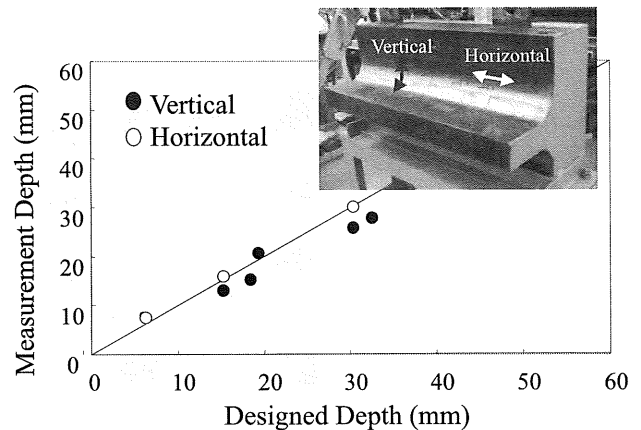


Fig. 4 Sizing results of H9 weld test piece (Accessed from inner RPV)

3.2 RPV 外面からの UT 技術

RPV の外面からの検査の利点は、定期検査における炉内検査や工事と並行して、H9 溶接部や H11 溶接部の検査が実施でき、定期検査の工程短縮に貢献できる点である。

RPV 外面 UT では、RPV の板厚が約 150mm と厚く、探触子から遠方で超音波を集束可能なフェーズドアレイ探触子を用いた探傷が必要となる。遠方で超音波を集束させるために、アレイ探触子の振動子寸法の大型化を実施した。(Fig.5 参照)

また、電子スキャンに広角度範囲 (0° ~70° 程度) のセクタスキャンを用いて探傷範囲を画像化することにより、ひび深さを容易に測定できる。Fig. 6 に RPV 外面 UT のモックアップ試験の様子と探傷結果を示す。Fig. 6 (b) は溶接線平行方向に付与したひびの探傷結果の例であり、ひびの先端エコーを検出でき、ひびの深さ測定が可能であることがわかる。さらに、クラッドと RPV 母材の境界部を検出することにより、ひび先

端の RPV 母材への進展の有無も評価できる。

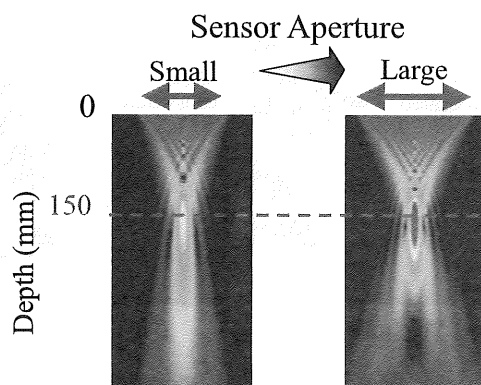
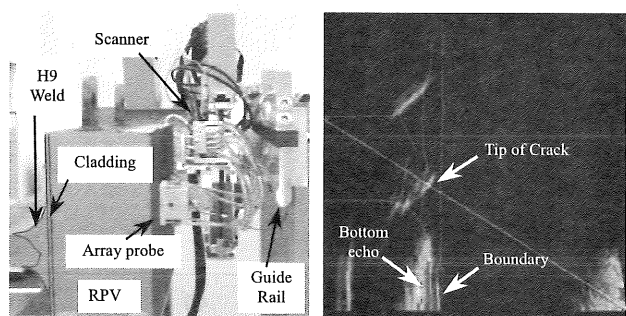


Fig. 5 Effect of sensor aperture



(a) Test piece with UT device (b) Image of horizontal crack
Fig. 6 H9 weld test piece with UT device and image of horizontal crack

Fig. 7に H9 模擬試験体に対する RPV 外面 UT によるひび深さの測定結果を示す。図中の Vertical は溶接線に対して直交方向に付与された EDM の測定結果を示し、Horizontal は溶接線に平行に付与された EDM の測定結果を示す。RPV 外面 UT では、ひび深さを精度良く測定が可能であることが確認できた。[2]

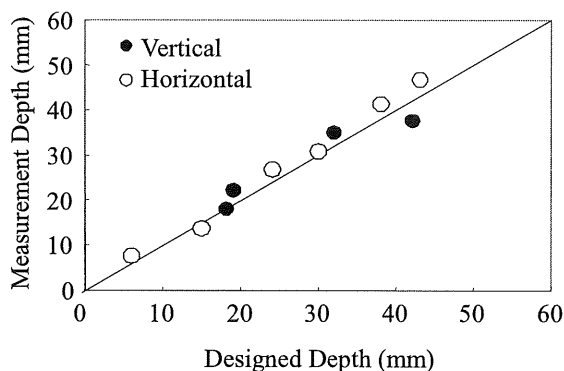


Fig. 7 Sizing results of H9 weld test piece
(Accessed from outer RPV)

Fig. 8に RPV 外面 UT で H9 溶接部と H11 溶接部を検査するための走査機構を示す。RPV 外面 UT は、RPV の供用期間中検査 (Inservice Inspection、以下 ISI と略記) で用いる ISI 軌道上を走査機構が走行することで検査することができる。

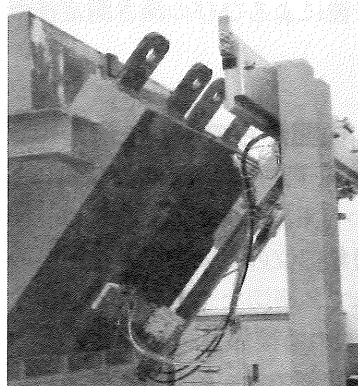


Fig. 8 H11 weld test piece with UT device

4. 結言

炉内構造物模擬試験体に対して、RPV 内面および外面からの UT によるひび深さ測定を実施し、以下を確認した。

- 1) RPV 内側探傷では音響レンズを利用することによって、溶接部に付与した SCC を開口面側からのひび深さ測定が可能である。
- 2) RPV 外側探傷では、より大きい開口寸法の探触子を用いて、広角度範囲のセクタスキャンを利用することによって、ひびの深さ測定および RPV への進展の有無の確認が可能である。

参考文献

- [1] M. Miki, N. Kono, Y. Nonaka and K. Ehara, "Development of crack sizing method by ultrasonic testing on weld metal of nickel-based alloy", Proceedings of 6th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurised Components, (2007)
- [2] N. Kono, M. Miki, K. Ehara, and Y. Nonaka, "Development of an Automated Inspection System for the BWR Reactor Bottom Head", Proceedings of the 15th International Conference on Nuclear Engineering, (2007)