

# ステンレス溶接金属内張り材への非破壊検査手法の適用性

## Applicability of non-destructive inspection methods to SUS weld metal cladding

中部電力(株)	今井 富康	Tomiyasu IMAI	Non-member
中部電力(株)	黒野 晃平	Kouhei KURONO	Non-member
中部電力(株)	丹羽 勇太	Yuuta NIWA	Non-member
Southwest Research Institute	Jay L. Fisher, Sc.D.		Non-member
Southwest Research Institute	Adam C. Cobb, Ph.D.		Non-member
Southwest Research Institute	Alan R. Puchot		Non-member

### Abstract

Due to main condenser tube damage in May, 2011, seawater flowed into the reactor and other facilities of Hamaoka NPS Unit 5. The pitting corrosion was observed in the SUS weld metal cladding layer, welded to the inner face of the RPV base metal. In terms of the availability of RPV's required functions, RPV would be capable of continuous use based on component health assessment in December, 2015. However, development of non-destructive inspection methods to SUS weld metal cladding was needed to conduct the inspection program applied to plant operation. Applicability of non-destructive inspection methods to SUS weld metal cladding were confirmed.

**Keywords:** NDE, SUS weld metal cladding, corrosion, sea water intrusion

## 1. 背景

浜岡原子力発電所5号機(以下、「5号機」という。)(定格電気出力138万kW)は、経済産業大臣からの運転停止要請「浜岡原子力発電所の津波に対する防護対策の確実な実施とそれまでの間の運転の停止について」を受け、平成23年5月14日10時15分に発電を停止し、原子炉減圧操作中のところ(平成23年5月14日12時59分に原子炉未臨界に到達した後)、復水器の細管損傷により原子炉施設内に海水が混入する事象が発生した。

原子炉压力容器の点検の結果、内張り材(強度部材となる原子炉压力容器母材に溶着されたステンレス溶接金属であり、内張り材は強度部材ではない。)に孔食を確認した。孔食は喫水線およびアニユラス部近傍に分布しており、周方向には様相が概ね同じであることを確認した。原子炉压力容器内張り材の点検結果を Fig.1 に示す。

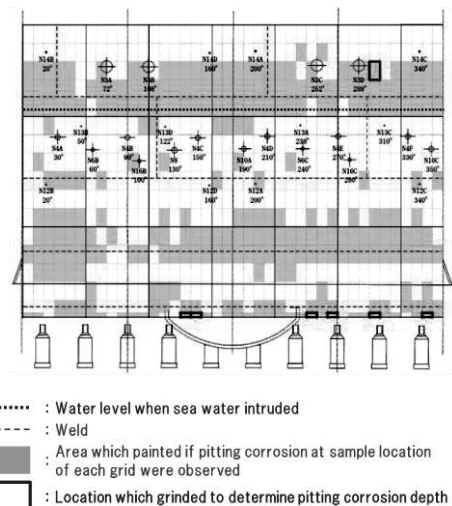


Fig.1 Distribution of pitting corrosion at RPV inner surface

機器レベルの健全性評価結果から、確認された孔食は内張り材に留まっており、原子炉压力容器の機能に対して海水混入による影響はなく、今後原子炉水の浄化を継続することにより腐食環境を抑制していくことで、原子炉压力容器は継続使用可能であると評価している<sup>[1]</sup>。

連絡先: 今井 富康、〒437-1695 静岡県御前崎市佐倉 5561、中部電力株式会社浜岡原子力発電所保守部保守管理課  
E-mail: Imai.Tomiyasu@chuden.co.jp

今後、原子炉圧力容器の内張り材に確認された孔食について、継続的に監視する非破壊検査手法が望まれるため、超音波探傷試験および渦流探傷試験の適用性について報告する。

## 2. 孔食検出技術の適用方案

### 2.1 観察された孔食の特徴

実機で確認された孔食について目視点検および表面研磨により確認した結果を Fig.2 に示す。確認された孔食は周方向には様相が概ね同じであり、孔食の直径は数 mm 程度であった。また、原子炉圧力容器下部において、内張り材と母材の境界の溶接溶け込み部までの約 4mm が最も深い孔食であった。

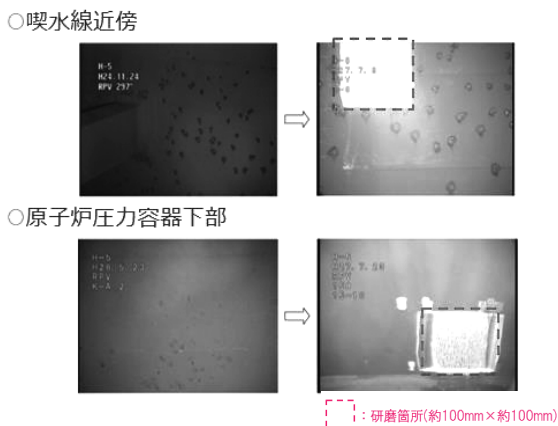


Fig.2 Inspection result of RPV inner surface

### 2.2 内張り材内部の孔食に対する試験手法

原子炉圧力容器の内張り材の孔食は広範に分布することから、サイジング・マッピングとして、渦電流探傷試験 (ECT) により原子炉圧力容器の内張り材内表面をスキャンして異常を迅速にスクリーニングし、異常が見つかった場合、UT によりサイジングすることの適用性を検討する。(1) 渦電流探傷試験 (ECT) においては、孔食の表層の状況やおおよその深さ情報を比較的高速に 1 次スクリーニングすることを主眼とし、(2) 焦点型超音波探傷試験 (UT) では孔食深さおよび大きさの正確な値の取得を目的とする。なお、母材部 (低合金鋼) まで進展した孔食に対しては、原子炉圧力容器外表面からの超音波探傷試験技術の適用実績があり、本稿では扱わない。

## 3. 試験片

非破壊検査技術の適用性の確認にあたり、実機原子炉圧力容器の内張り材溶接金属部を模擬した 2 つの試験片を異なるメーカーにより準備した。模擬欠陥は、クラッド厚さよりも浅いものと、母材部内まで伸びている模擬孔を加工した。試験体①の模擬孔の径は 0.5mm~6.0mm であり、溶接シームの境界及び中間に等間隔に 40 種類の模擬孔を加工した (Fig.3)。また、試験体②の模擬孔の径は 0.6mm~3.2mm であり、比較的小さな範囲 (約 40mm×40mm) にランダムに様々な模擬孔を 35 個配置した。

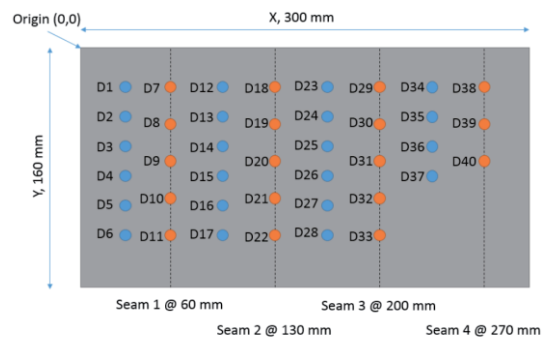


Fig.3 Test block 1

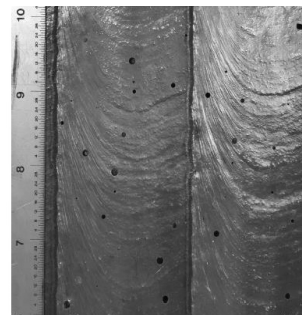


Fig.4 Test block 2

## 4. 非破壊検査技術の適用性確認結果

### 4.1 渦電流探傷試験

渦電流探傷試験においては、大別して低周波プローブと高周波プローブによる試験を行った。

一般にオーステナイトステンレス鋼内に 2.5mm の渦電流の浸透深さを得るには、約 30kHz の低周波プローブが適している。そのため、原子炉圧力容器ノズル部の異材継手に対し利用実績のある大きな低周波プローブ (30kHz~80kHz) を用いて、模擬孔の深さ検出能力を確認した。その結果、直径 1mm~2mm

の模擬孔を検出することは出来るが、内張り材表面粗さの影響を受け、当初期待したほど模擬孔に対する深さ精度は得られなかった。ピーク信号対雑音比（S/N比）を低減するクラッドの表面粗さと、小さな径の模擬孔の組み合わせの結果と考えられる。

一方、様々な様相を有す内張り材の溶接金属表面にて1mm未満の表面積の欠陥を検出するには、高周波プローブ（500kHz～2MHz）が適している。高周波プローブによる試験の結果、試験体①と試験体②の表面孔食分布がすべて検出可能であった。表面の孔食分布の取得については、試験体②は試験体①に比べて表面粗さにばらつきがあるにも関わらず、試験結果はほぼ同じであった。高周波プローブによる試験結果の一例を Fig.5 に示す。

探傷に要す時間は、UTの1/4程度であり、アレイ探触子を用いることでさらに短縮が可能であり、目視点検の代替手段として利用可能と考えられるが、深さ精度に関しては検証が必要である。

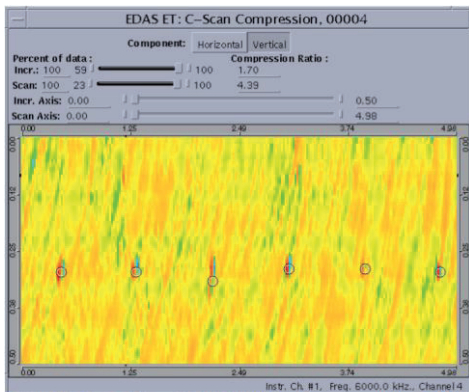


Fig.5 Example of flaws with the probe at 2 MHz

## 4.2 超音波探傷試験

超音波探傷試験では、超音波ビームを小さな試験対象に集束させるため、15MHz, 20MHz, 25MHzの焦点型超音波探触子を準備した (Table.1)。

Table 1 UT transducer Parameters

Center Frequency (MHz)	Element Diameter (mm)	Focal Distance (mm)	Beam Diameter at Focus (mm)	Focal Zone Length (mm)
15	9.53	31.75	0.34	8.26
20	6.35	25.40	0.30	8.72
25	6.35	31.75	0.30	10.90

初期の探触子の性能確認にて15MHzと20MHzの探触子の性能はほぼ同じであったことから、詳細な評価は15MHzと25MHzの探触子に対して実施した。

試験の結果、実機の压力容器内張り材に確認されるような特に深く細い模擬孔に対しては、25MHz探触子が最も良い結果となった。25MHz探触子からのBスキャン画像の一例を Fig.6 に示す。

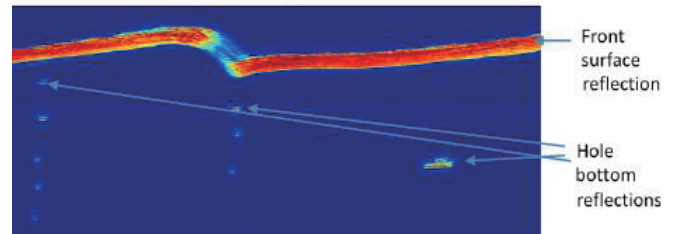


Fig.6 Example of B-scan data

また、溶接シーム境界の凹み部を含み、内張り材表面の1.5mm程度の粗さは試験結果に大きな影響を与えないことが確認され、条件の異なる試験体①と試験体②の模擬孔がすべて検出された。なお、試験体②において、浅い模擬孔に対し、溶接シーム境界近傍の様な内張り材の表面に生ずる段差が底部からの反射波と干渉する可能性がある。

Table 2 UT probe depth measurement accuracy

Probe Frequency (MHz)	Test block No.	Average Error (mm)	Standard Deviation of error (mm)	Maximum Underestimate (mm)
15	1	0.12	0.09	0.37
	2	0.11	0.13	0.62
25	1	0.11	0.11	0.57
	2	0.12	0.15	0.82

## 5. 今後の課題

超音波探傷試験では、内張り材溶接金属の表面粗さに係らず良好な深さ検出精度が得られた。一方、渦電流探傷試験は、プローブ設計等による深さ検出精度の向上について検討を進める必要がある。

## 参考文献

- [1] 中部電力株式会社、“「中部電力株式会社浜岡原子力発電所第5号機における復水器細管損傷の影響の調査について（指示）」に対する報告について（第4回中間報告）」、平成27年12月