

ウエルドオーバーレイ施工部に付与された 各種人工欠陥の応答性評価

The Ultrasonic Responses from Intergranular Stress Corrosion Cracking and other alternative flaws in Weld Overlay (WOL) Samples

電力中央研究所	東海林 一	Hajime SHOHJI	Member
電力中央研究所	秀 耕一郎	Koichiro HIDE	Member
電力中央研究所	渡辺 恵司	Keiji WATANABE	Member

In Japan, a performance demonstration (PD) system for certifying WOL inspection methods is being developed. The Japanese qualification requirements dictate that either real IGSCC or equivalent flaws that produce ultrasonic responses similar to IGSCC be used in the qualification test samples. Studies have shown that it is very difficult to control the growth of deep IGSCC in weld overlay samples, so the Japanese have selected an alternative flaw making process that is capable of producing equivalent responses. This study focuses on the tests performed to evaluate these alternative flaws, which are 'laboratory grown' IGSCC. The major parameters compared in this study include echo height, signal to noise ratio of tips, and characteristics of the faces where there are flaws (branching and crack surface roughness) detected from testing equipment responses. This paper contains images generated for this comparison, coupled with corroborating measurements which were made.

Keywords: Weld Overlay, Ultrasonic Testing, IGSCC, Performance Demonstration, Fatigue Crack, Phased Array,

1. はじめに

軽水型原子力発電所の配管に対する補修工法のひとつとして、ウエルドオーバーレイ(Weld Overlay : WOL)工法がある。これはき裂が検出された配管に対して、外面側に肉盛溶接を施工し、き裂の発生した配管(原配管)に代わる強度部材とする補修工法である[1]。この工法は配管の切断が不要で、交換用の部材を準備しておく必要がないなどの長所があり、活用が期待されている。

WOL 部の検査は、強度部材である WOL 溶接部の健全性の確認と、原配管の外面側 25%厚さに相当する範囲を監視範囲として、その部分にき裂の進展がないこと、き裂がある場合には、その深さ(残存厚さ)および長さ(原配管の外面側25%厚さを超える範囲)を確認するものである(Fig.1)。この WOL 部の検査は厚いステンレス鋼溶接部を透過してき裂の先端を検出するという点において、難易度の高い検査技術であるとされている。

過去に行われた WOL 部の検査性に関する研究[2]においては、人工欠陥として IGSCC を採用したが、これは一般的なステンレス鋼突き合わせ溶接部の検査の場合に、IGSCC のき裂先端は疲労き裂等と比べて検出が難しいと

のデータがある[3]ためであり、これらのデータは WOL 部については整備されていない。このことは検査技術の実証試験制度(Performance Demonstration : PD)[4]などで試験体に付与する人工欠陥として何を選択すべきかとの判断に必要である。

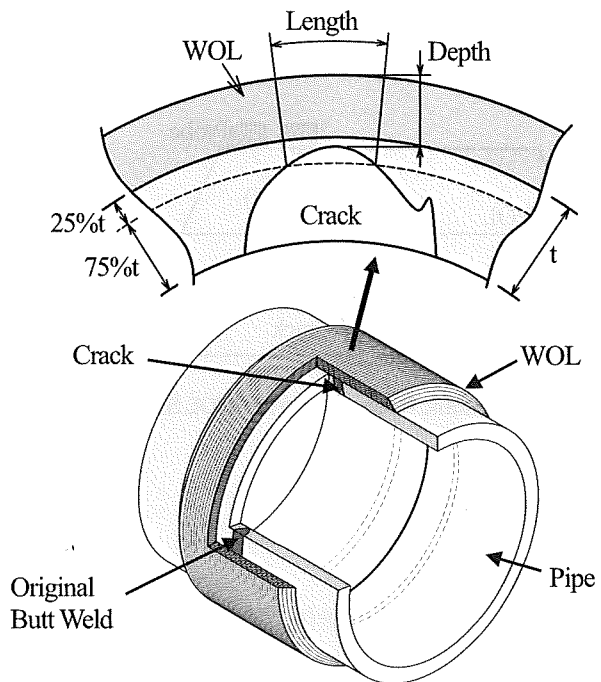


Fig.1 Overview of Weld overlay Inspection

連絡先:東海林 一、〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂
2-6-1、電力中央研究所 材料科学研究所 PD センター、
E-mail: shohji@criepi.denken.or.jp

一方で、米国では WOL 部の PD 制度は既に発足しており、EPRI(Electric Power Research Institute)は多数の WOL 試験体を保有している。しかし、これらの試験体で欠陥に対する超音波応答性が公表されたことはない。

本研究ではこれらの課題に対して、実機模擬環境で付与した IGSCC と、疲労き裂、および EPRI の試験体(練習用)について超音波応答性を比較、評価を行うものである[5]。

2. 超音波応答性についての検討

WOL 部の検査を行う場合に、き裂の検出および長さ測定、深さ測定はそれぞれ、き裂の先端を正しく特定することである。超音波探傷において、き裂の先端を正しく特定する上で重要な要素として、以下の3点が挙げられる(Fig.2)。

- (1) き裂端部エコー(き裂先端からのエコー)
- (2) き裂面エコー(き裂の分岐や表面凹凸エコー)
- (3) B スコープ等の探傷画像

上記のうち(1)については、き裂端部エコーの強度が高いほど、また SN 比が高いほど識別は容易である。(2)はき裂端部エコーと間違っ認識される可能性がある強いき裂面エコーがない方がき裂端部エコーの選択が容易であり、き裂端部エコーとき裂面エコーの比で傾向を確認できる。(3)はB スコープ等の画像表示で、顕著な差異がないことが必要である。

本研究ではこれらの3点に着目して評価を行う。

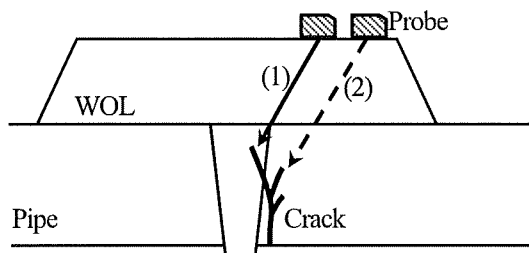


Fig.2 Ultrasonic Responses from WOL Sample

3. 試験実施内容

3.1 WOL 試験体の製作

本研究で製作した WOL 試験体の基本仕様を Table 1 に示す。これらの仕様は 110 万 Kw 級の BWR プラントの原子炉再循環系配管の母管を想定したものである。また Table 2 に、付与した IGSCC および、IGSCC を起点とし

た疲労き裂などの欠陥種類および仕様を示す。WOL 部模擬試験体の外観例を Fig.3 に示す。

Fig.4 は製作した IGSCC の切断調査結果である。ここで示すようにき裂の形状は、実機で確認されているような IGSCC[6][7]と類似しており、製作した IGSCC は実機相当であると判断できる。

Table 1 Specification of Test Specimen

Base Piping Outer Diameter	609.6 mm
Base Piping Thickness	35.0mm
Base Piping Material	SUS 316
Base Piping Butt Weld	SUS 316 (TIG)
WOL Thickness	22.9mm (min.)
WOL length	300mm
WOL Material	SUS 308 (TIG)

Table 2 Crack Specification

Crack Type	Crack Tip Location			Total
	HAZ	Butt weld	WOL	
IGSCC	5	-	-	5
IGSCC + Fatigue	-	3	1	4
EDM + Fatigue	-	1	1	2

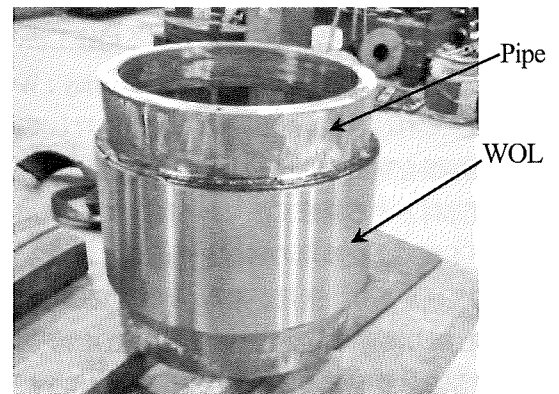


Fig.3 Example of WOL Test Specimen

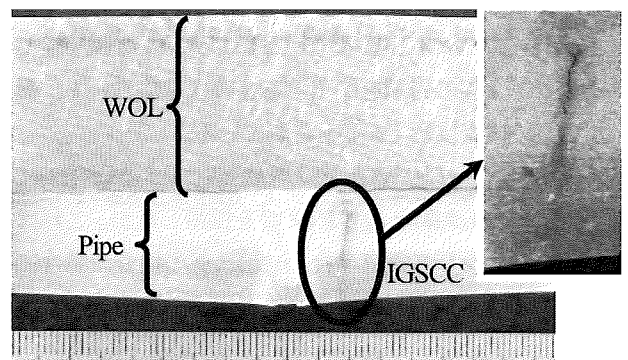


Fig.4 IGSCC Sample

3.2 探傷方法

本研究で探傷データを採取した探傷方法を **Table 3** に示す。探傷はフェーズドアレイ技術を用いて行い、当所およびEPRIの手法でデータ採取を行った。

Table 3 UT Technique

	Technique 1	Technique 2
Technique	Phased Array UT (Sector Scan)	Phased Array UT (Sector Scan)
Refracted Angle	-5° ~ 50°	0°, 45°, 60°, 70°
Frequency	2.0 MHz	1.5 MHz
Probe	Matrix Array (pitch / catch)	Matrix Array (pitch / catch)
Focal Depth (from OD)	40mm/20mm	30mm/20mm
Performed by	CRIEPI	EPRI
Note		2 Cracks only

3.3 エコー高さの比較

(1) IGSCCの端部エコー強度

今回製作したIGSCCについて、各々上流側と下流側の両方向から探傷を実施し、各々の端部エコー強度についてまとめたものを **Fig.5** に示す。ここで示すように5つのIGSCCについて探傷を行ったところ端部エコー高さにかなり幅があることがわかる。また、同じき裂でも探傷方向によって、端部エコー高さが大きく変化することが確認された。これはき裂先端の形状や向きに識別性が大きく依存していることを示している。

(2) 各種き裂の端部エコーの比較

各種き裂の端部エコーの平均値の比較を **Fig.6** に示す。ここで、き裂端部エコーのエコー高さが高い場合は、き裂端部エコーの識別性は良好で、実証試験等を行う場合には容易な試験体と考えられ、逆にき裂端部エコーのエコー高さが低くノイズレベルに近い場合は、識別性が低く、難度が高いと考えることができる。**Fig.6** に示すようにIGSCCのき裂端部エコーに比べて、IGSCCから進展させた疲労き裂(き裂先端は疲労き裂)やEPRIのPDI用試験体のき裂端部エコーは低く、ノイズレベルと比較しても明瞭であるとは言えず、IGSCCよりも比較的難度が高いと言える。

(3) 各種き裂のき裂面エコーの評価

各種き裂のき裂面エコー高さに対する端部エコー高さの平均値の比較を **Fig.7** に示す。この比が小さい

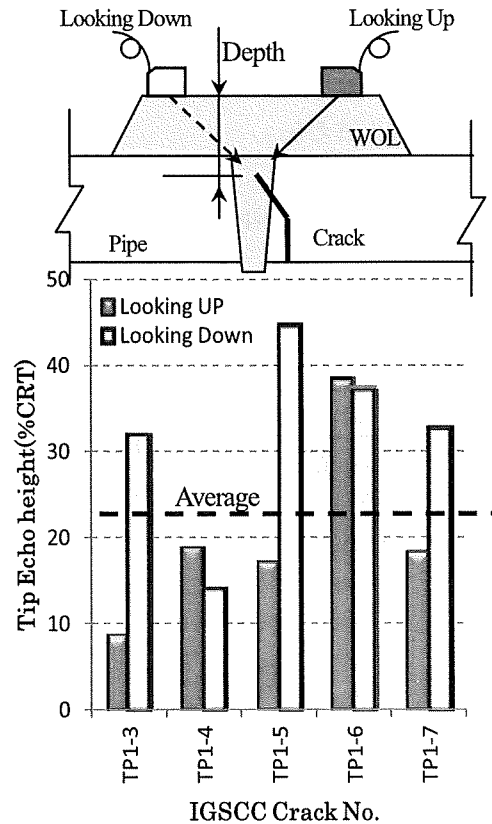


Fig.5 IGSCC Tip echo height

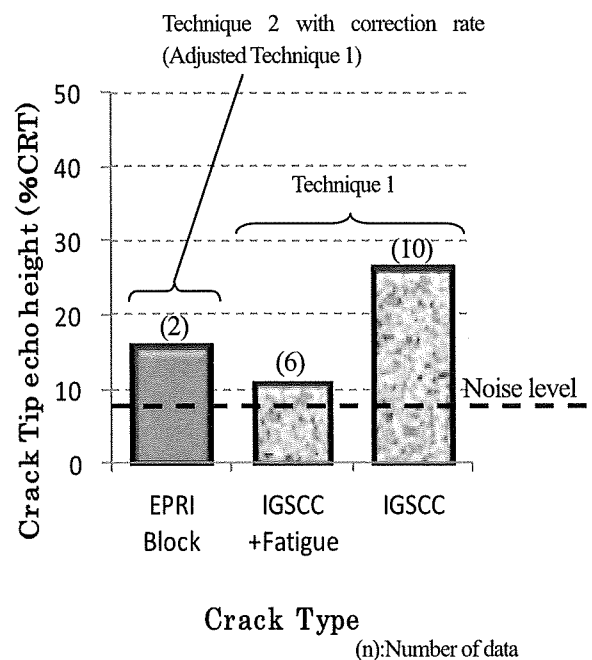


Fig.6 Average Tip echo height

場合には、同程度のエコー高さの端部エコーとき裂面エコーを識別する技量が必要であり、難度が高いことを示す。Fig.7 に示す通りに、IGSCC に比べて、他の試験体は、この比が小さく、IGSCC よりも難度の高い試験体であると言える。

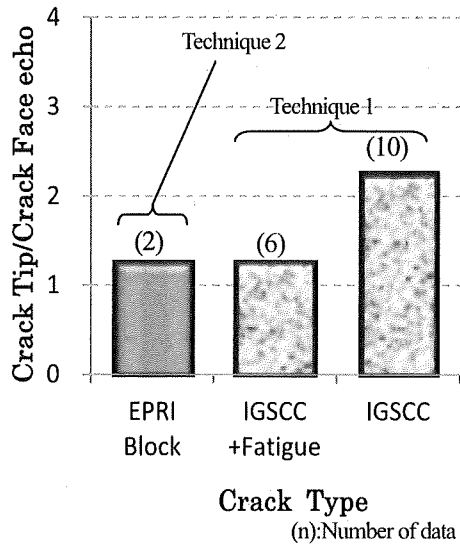


Fig.7 Tip / Face echo

(4) B スコープの比較

各種き裂の B スコープの比較を Fig.8 に示す。ここで示されるように、EPRI 試験体や疲労き裂試験体は IGSCC と比較して端部エコーの識別性は低く、試験体としての難易度が高いことが確認できた。

4. まとめ

今回製作した疲労き裂試験体および EPRI で製作した WOL 試験体は、今回製作した IGSCC 試験体と比較して、超音波応答性は同程度か若干難易度が高く、PD 試験等で使用することは妥当であると評価できる。

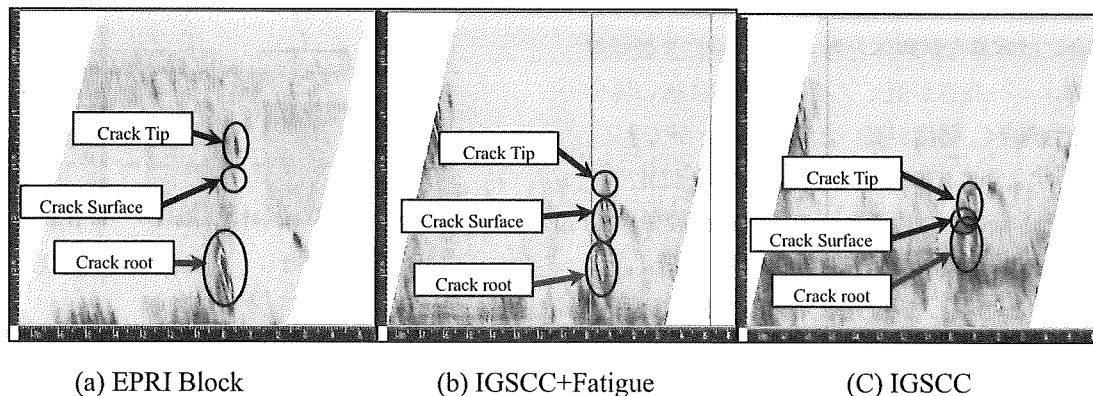


Fig.8 Sample of B-scan data

謝 辞

本研究は、EPRI NDE センターの多大なる協力によって達成したものであり、ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] 経済産業省 原子力安全・保安院 : 発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の解釈について(別記-13 ウェルドオーバーレイ工法の適用にあたって), 平成 23・09・09 原院第 2 号, 平成 23 年 10 月 7 日
- [2] H. Chikahata, et al : Weld Overlay (WOL) UT Joint Study Result, Proceeding of 7th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, 2009, p383-389
- [3] 独立行政法人 原子力安全基盤機構 : 平成16年度 原子力施設検査技術実証事業に関する報告書 (超音波探傷試験における欠陥検出性及びサイジング精度の確認に関するもの) [総括版],平成17年4月, 05基材報-0001
- [4] 社団法人 日本非破壊検査協会 : 日本非破壊検査協会規格「超音波探傷試験システムの性能実証における技術者の資格および認証(NDIS 0603 : 2005) ,平成 17 年 5 月 18 日
- [5] H. Shohji, et al : Comparison of Ultrasonic Responses from Intergranular Stress Corrosion cracking (IGSCC) and Man-made Flaws in Weld Overlay (WOL) Samples, Proceeding of 9th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, 2012
- [6] Jan Wale : Crack Characterization for In-service Inspection Planning - An Updated, SKI Report 2006 : 24, May 2006
- [7] 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 : 再循環系配管の材料サンプル調査結果について, 原子力発電設備の健全性評価等に関する小委員会 (第5回) 資料 参考5-9

(平成 23 年 6 月 15 日)