

# 原子炉容器上蓋管台検査技術のサイジング性評価

## Sizing Capabilities of Crack for the Inspection of PWR RV Head Penetrations

(株)原子力エンジニアリング	松本 善博	Yoshihiro Matsumoto	Member
(株)原子力エンジニアリング	勝又 陵介	Ryosuke Katsumata	Non-member
(株)原子力エンジニアリング	田中 昌幸	Masayuki Tanaka	Non-member
(株)原子力エンジニアリング	泉田 博幸	Hiroyuki Izumida	Member
(株)原子力エンジニアリング	原田 豊	Yutaka Harada	Member
(株)原子力エンジニアリング	村上 龍児	Ryuji Murakami	Member

This paper describes the result of demonstration test using WesDyne International's inspection system in terms of its sizing capability of crack from the inner diameter (ID) of PWR RV head penetrations, detectability of the crack embedded under repair welding, which was applied for isolation from the primary water environment, and the propagation of ultrasonic wave from the ID penetration to the inside of J-weld. The result of the laboratory tests have demonstrated the sizing capabilities of both ultrasonic testing (UT) using time-of-flight diffraction (TOFD) techniques and eddy current testing (ECT). It has been demonstrated that these crack sizing techniques are applicable to the examination of RV head penetrations at an actual plant with a sufficient level of accuracy. Furthermore, detectability of the crack embedded under repair welding and propagation of ultrasonic wave inside of the J-weld was confirmed.

**Keywords:** PWR, Inspection, RV Head Penetration, Ultrasonic Testing, Eddy Current Testing

### 1. 緒言

PWRの原子炉容器上蓋は、制御棒駆動装置を取り付けるための管台が低合金鋼の上蓋に溶接された構造を有し、近年、海外プラントにおいて、Alloy 600を使用した上蓋管台母材部に応力腐食割れ（SCC）の発生が報告されている。

上蓋管台母材部に、SCCき裂が発生した場合には、SCCき裂のサイジング後、必要に応じて環境遮断クラッド溶接が施工される。SCC発生の対策として、超音波探傷試験（UT）及び渦流探傷試験（ECT）によるSCCき裂のサイジング性、及び、継続監視のために環境遮断クラッド溶接施工後における残存SCCき裂の検出性を確認しておくことは重要である。

本報告では、管台内面からの検査による管台母材SCCき裂に対するサイジング性、及び、環境遮断クラッド溶接下のSCCき裂の検出性、さらに、管台内面からJ溶接金属部内への超音波の透過性について、WesDyne International社製検査システムによる試験結果を報告する。

### 2. 試験手順

Fig.1には、試験手順を示す。SCCについては、探傷後、破壊試験を実施し、判定結果と破壊結果を比較することにより、サイジング性を評価した。

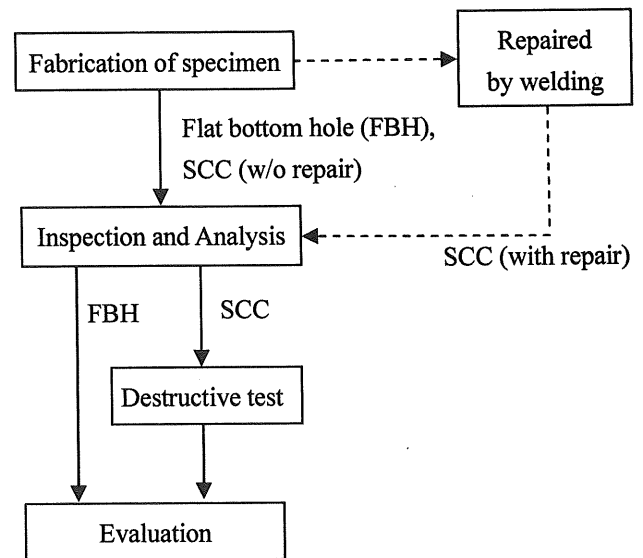


Fig.1 Experimental Procedure

連絡先：松本善博、〒550-0001 大阪市西区土佐堀 1-3-7  
肥後橋シミズビル 12F、(株)原子力エンジニアリング、  
電話：06-6446-9363、e-mail: ymatsumoto@sg-gr.neltd.co.jp

### 3. 試験体

#### 3.1 管台母材部 SCC き裂試験体

SCC き裂に対するサイジング性試験を目的として、Alloy 600 母材（半割り状態。内径約 70mm、厚さ約 16mm）に対し、腐食液に浸漬することにより SCC き裂を付与した。

Fig.2 に示すように半割れの管台模擬試験体に対し、長さ、深さをパラメータとした内面軸方向 SCC (12 体)、外面軸方向 SCC (2 体) を製作した。

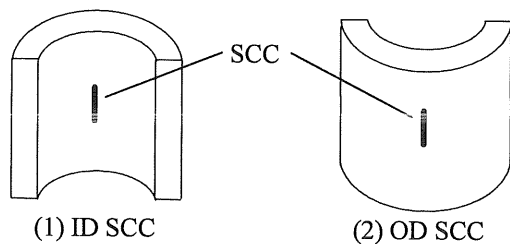


Fig.2 Schematic drawing of specimens with SCC

#### 3.2 環境遮断クラッド溶接下 SCC き裂試験体

環境遮断クラッド溶接下の SCC き裂の検出性試験を目的として、環境遮断クラッド溶接下に SCC を有する試験体を製作した。

前項と同じように製作した内面軸方向 SCC き裂（測定深さ 5mm 以上、3 体）に対し、軸方向 75mm、周方向 50mm、内面から深さ 5mm の領域を除去した後、Alloy 690 溶加材による 3 層の環境遮断クラッド溶接を実施し、試験体（3 体）を製作した。Fig.3 には試験体の概念図を示す。

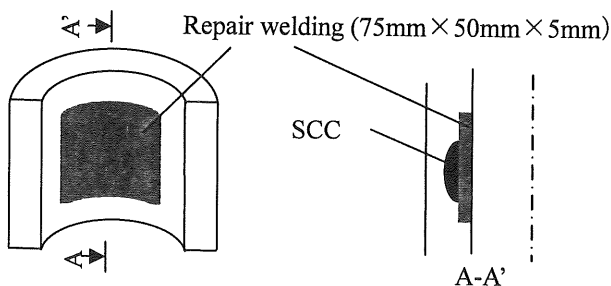


Fig.3 Schematic drawing of specimens with SCC Under repair welding

#### 3.3 J 溶接部付きモックアップ

管台内面から J 溶接金属内への超音波の透過性を確認することを目的とし、J 溶接部付モックアップに対して、Fig.4 に示す平底穴を付与した。J 溶接部は、Alloy 600 系溶接棒による被覆アーク溶接により、Alloy 600 製管台を低合金鋼の原子炉容器上蓋に多層溶接したものである。

周方向き裂を模擬するため、き裂形状は反射面（底面）が管台中心方向としている。平底穴は管台外面からの距離をパラメータとした 5 種類を加工した。

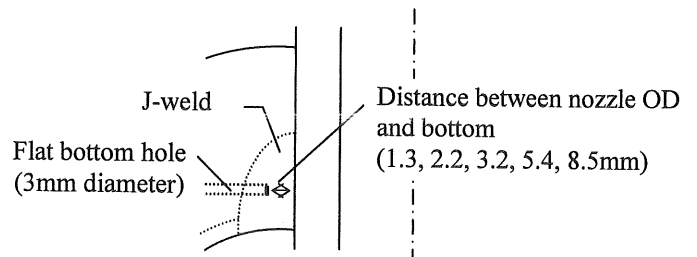


Fig.4 Schematic drawing of specimens with flat bottom hole in J weld

### 4. 探傷

#### 4.1 探傷装置

探傷には WesDyne International 製検査装置のギャップスキャナ及びオープンハウジングを使用した[1]。

ギャップスキャナはサーマルスリーブのある管台に適用され、ECT または TOFD-UT 機能を有するプローブを管台とサーマルスリーブの隙間に挿入し探傷を行う装置である。

オープンハウジングはサーマルスリーブのない管台に適用され、ECT、垂直 UT 及び TOFD-UT 機能を有するプローブを管台内へ挿入し探傷を行う装置である。

ECT は管台内面の欠陥検出及び長さサイジングに使用され、TOFD-UT は欠陥検出及び深さサイジングに使用される。

#### 4.2 探傷方法

試験時の探傷方法を Fig.5 に示す。オープンハウジングでは、スタンドに固定された試験体にプローブを挿入することにより自動探傷を実施した。ギャップスキャナの場合には、ダミーサーマルスリーブを取り付けることにより隙間を構成し、自動探傷を実施した。

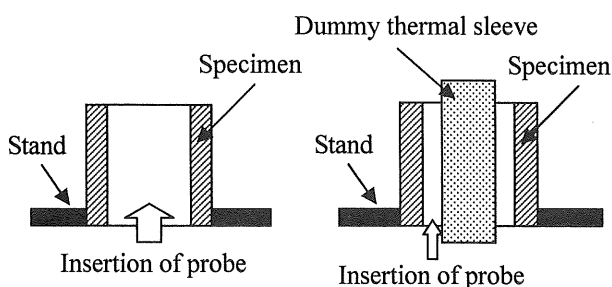


Fig.5 Schematic drawing of experimental setup

ECT の場合、表面き裂を対象としているため、内面き裂に対して適用した。

UT の場合、ギャップスキャナには、内面からの距離に応じて、3 種類のプロブがある。内面き裂に対しては、すべての種類のプロブを使用し、外面の信号源（外面のき裂 SCC 及び J 溶接部の平底穴）に対しては、外面側に感度を有するプロブを用いた。

また、環境遮断クラッド溶接の試験体に対しては、サーマルスリーブを取り外した状態で補修溶接が実施されることから、オープンハウジングのみを試験対象とした。

## 5. 試験結果

### 5.1 管台母材部のき裂サイジング性

Fig.6 には、一例として、オープンハウジングによる ECT、UT 信号、及び、試験体の破壊観察結果を示す。ECT によるき裂長さ、UT によるき裂深さの判定後、試験体を破壊し、き裂の長さ及び最大深さを測定した。

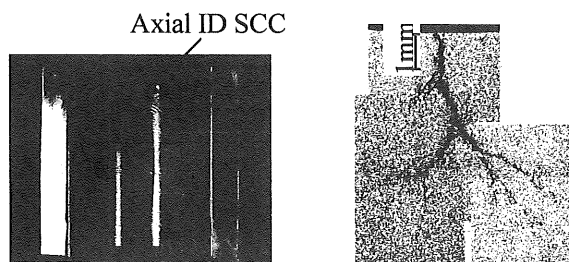
Fig.7 には、ECT によるき裂長さ評価結果を示す。横軸に破壊試験による実測値、縦軸に判定値を示し、誤差評価を実施したものである。き裂長さの判定では、信号の最大値に対する半価値をき裂長さとして評価した。RMS 誤差は約 4.4mm であり、十分な精度を有する結果であった。

Fig.8 には、UT によるき裂深さ評価結果を示す。ギャップスキャナの場合には、3 種類の判定結果のうち最大き裂深さを採用した。なお、外面き裂については、管内面き裂先端距離を評価対象としている。

RMS 誤差は 0.75mm であり、UT によるき裂深さは精度良く評価できており、また、過小評価となるような傾向は認められなかった。

### Destructive results

Length: 74mm Maximum depth: 7.6mm

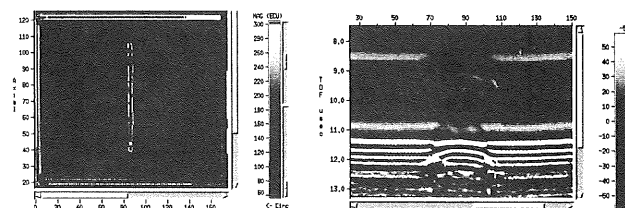


(1) Picture of specimen

(2) Destructive test (cross section)

### Evaluation

Length: 68mm Maximum depth: 7.3mm



(3) ECT result

(4) UT result

Fig.6 Example of results for ID SCC specimen by Open housing

Number of data	18
Average error	-3.4 mm
Standard deviation	2.79 mm
RMS error	4.38 mm

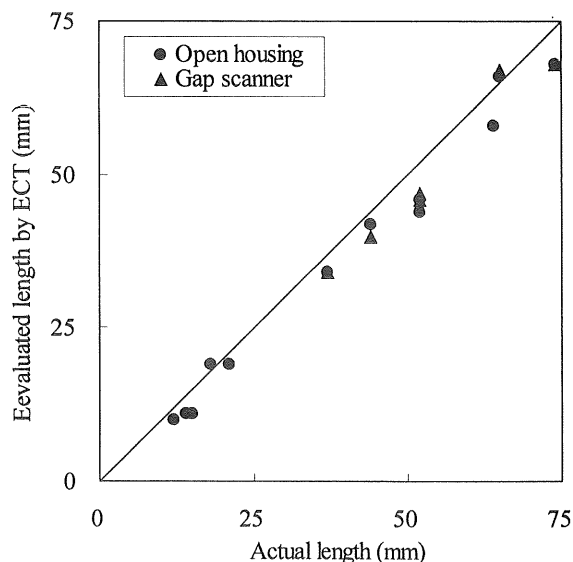


Fig.7 Result of crack length sizing by ECT

Number of data	28
Average error	0.14 mm
Standard deviation	0.75 mm
RMS error	0.75 mm

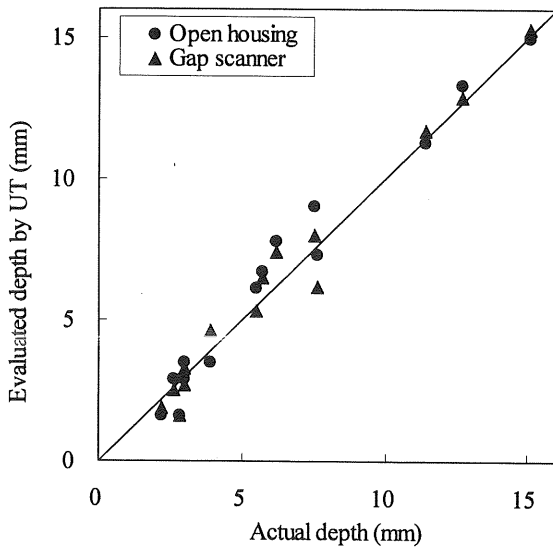


Fig.8 Result of crack depth sizing by UT

## 5.2 環境遮断クラッド溶接下のき裂確認性

オープンハウジングの UT による環境遮断クラッド溶接下のき裂確認性試験として、3 体の試験体に対して各 4 回測定した結果、いずれもき裂先端位置の確認が可能であった。

## 5.3 J 溶接部内部への超音波透過性

J 溶接内への超音波は、直径約 3mm の EDM 平底穴を用いて確認した結果、オープンハウジングでは管台外面から 8mm、ギャップスキャナでは 3mm まで透過することを確認できた。

## 6. 結論

管台母材部の SCC き裂に対して、ECT によるき裂長さサイジングの有効性 (RMS 誤差約 4.4mm) 及びき裂深さサイジングの有効性 (RMS 誤差 0.75mm) が確認できた。また、外面き裂についても内面き裂と同等の深さサイジング性であった。

実機において管台母材にき裂が発生した場合に、き裂のサイジングは、保守的に評価しても十分な精度を有すると評価できるものである。

オープンハウジングにより、環境遮断クラッド溶接下の残存 SCC き裂先端部の位置が確認できた。これにより、UT (TOFD 法) により環境遮断クラッド溶接下の残存 SCC き裂確認が可能と評価でき、き裂に対し、環境遮断クラッド溶接工法を適用した場合に、き裂の初期位置が取得可能であり、供用期間中の継続確認が可能であると評価できるものである。

管台母材内面からの J 溶接金属内への超音波は、直径約 3mm の EDM 平底穴を用いて確認した結果、オープンハウジングでは管台外面から 8mm、ギャップスキャナでは 3mm まで透過することが確認できた。

## 謝辞

本試験は PWR5 電力 (関西電力株式会社、北海道電力株式会社、四国電力株式会社、九州電力株式会社、日本原子力発電株式会社) の協力を得て行ったものである。

## 参考文献

- [1] Donald C. Adamonis et al., "Advanced Nondestructive Examination Technologies for Alloy 600 Components", 2004 ASME/JSME Pressure Vessel and Piping Conference, July 25-29, 2004, San Diego, California