

# 原子力発電所基礎ボルトの超音波による健全性評価

## Ultrasonic integrity evaluation of Anchor Bolts of Nuclear Power Plants

株式会社日立製作所	河野 尚幸	Naoyuki KONO	Non-Member
株式会社日立製作所	馬場 淳史	Atsushi BABA	Non-Member
日立GEニュークリア・エナジー株式会社	篠原 悟史	Satoshi SHINOHARA	Non-Member
日立GEニュークリア・エナジー株式会社	小平 小治郎	Kojirou KODAIRA	Member
東京電力株式会社	黒崎 裕一	Yuuichi KUROSAKI	Non-Member

Ultrasonic Integrity of anchor bolts of nuclear power plants is evaluated using test bolts with 1.6mm and 3.2 mm EDM notches. All notches are detected by the following three ultrasonic testing methods: longitudinal normal beam method, phased array (sectorial scanning) method and 3-dimensional phased array method. It is effective in detection of notches to use visual images obtained by ultrasonic phased array methods. Additionally, 3D phased array technique can provide fast and wide evaluation of integrity for inspection regions of anchor bolts.

**Keywords:** Anchor bolt, Integrity evaluation, Ultrasonic testing, Phased array, Matrix array, 3D

### 1. 緒言

原子力発電プラントにおける基礎ボルトの健全性評価方法として、超音波による手法について報告する。基礎ボルトは、片側または両側の先端部を除いて、ほとんどの部分がコンクリート等に埋設されているため健全性を評価するための体積検査手法として超音波検査が適用されており、その中でも、縦波垂直探傷法が広く用いられている。

一方、原子炉再循環系配管や炉内機器の検査においてフェーズドアレイ法とよばれる新しい手法の適用が進んでいる。フェーズドアレイ法とは、複数個の素子から構成されるアレイ探触子に対して、各素子で送信または受信するタイミングを電氣的に制御することで1つの探触子で複数方向に伝播する集束超音波を利用することが可能な技術であり、高速・高精度な検査手法として期待されている。

本報告では、従来の縦波垂直探傷法及びフェーズドアレイ法<sup>[1][2]</sup> (セクタ走査)に加えて、フェーズドアレイ法を3次元に拡張した3次元超音波探傷法(3Dフェーズドアレイ法)により、原子力発電用基礎ボルトの健全性評価試験を行った結果について報告する。

### 2. 試験体及び試験方法

#### 2.1 基礎ボルト模擬試験体

本試験で用いた基礎ボルト試験体の外観を図1に示す。試験体として、直径24mm、48mm、54mmの3種類を準備した。材質はいずれも炭素鋼(SS400)である。模擬欠陥の付与位置として、応力が集中するネジ部谷側を想定し、放電加工(EDM)スリットを付与した。EDMスリットの深さは、JEAG4207-2004<sup>[3]</sup>を参考に、3.2mm、1.6mmとした。試験体に付与したスリットの例を図2に示す。

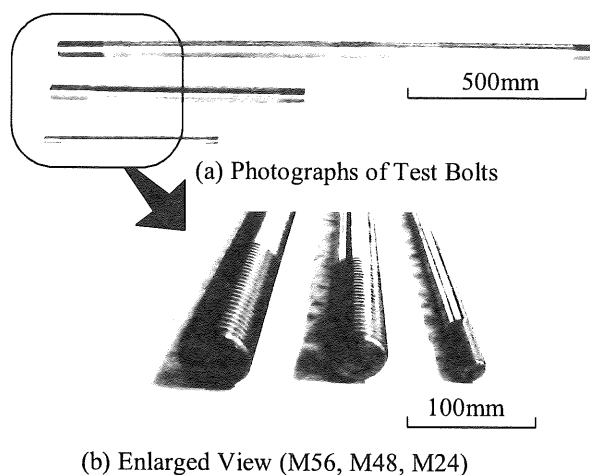


Fig.1 Test anchor bolts

連絡先:河野 尚幸, 〒319-1221 茨城県日立市大甕7-2-1,  
株式会社日立製作所 電力・電機開発研究所  
検査・情報プロジェクト 超音波検査グループ  
電話:0294-52-9256, e-mail:naoyuki.kono.jm@hitachi.com

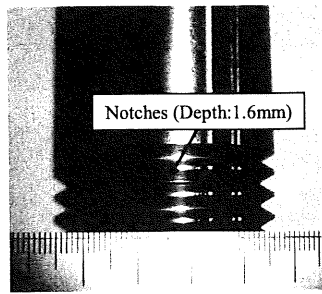


Fig.2 Test bolts with EDM notch

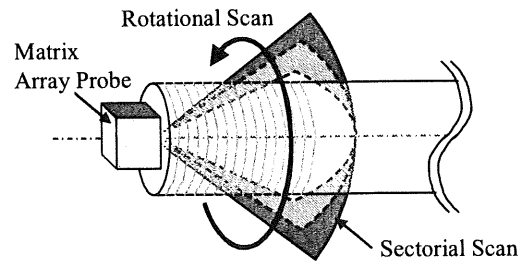


Fig.4 3D phased array method

## 2.2 試験方法

超音波探触子を基礎ボルトの頭部に設置し、探傷を行うものとする。探傷範囲は、図3(a)に示すように、探触子設置位置に対して手前側と反対側のネジ部の両方とし、EDMスリットからの反射信号の有無に注目して、基礎ボルトの健全性を評価する。

超音波探触子の設置位置及び走査方法の模式図を図3(b)及び図3(c)に示す。縦波垂直探傷法では垂直探触子を走査させて探傷を行い、フェーズドアレイ法では、アレイ探触子の位置を固定して超音波の送受信方向を電子的に走査(セクタ走査)させることで広範囲の探傷を一度に行う。この電子的走査により、探傷結果を2次元画像として得ることが可能となる。

さらに3Dフェーズドアレイ法では、セクタ走査と回転走査を組み合わせることで、探傷範囲全体を高速に探傷することが可能となる(図4参照)。

なお、今回の試験では、ボルトの底面(探触子設置面と反対側の面)からのエコーが表示器80%になる感度を基準感度とし、それを増幅して探傷感度とした。ただし、フェーズドアレイ法については当該部位の探傷に関する規格がないため、EDMスリットからのエコーが得られるように探傷感度を設定した。

## 3. 試験結果

### 3.1 縦波垂直探傷法

全ての基礎ボルト試験体に対して、深さ1.6mm及び3.2mmのEDMスリットを検出することができた。

探傷例として、5MHzの縦波垂直探触子によるM24の基礎ボルトの探傷波形(Aスキャン)を図5に示す。

M24の基礎ボルト試験体は、図5(a)に示すように、位置A側に深さ1.6mm、位置B側に深さ3.2mmのEDMスリットがそれぞれ付与されている。

図5(b)は、探触子を位置Aに設置した場合の波形である。探傷感度を基準感度+0dBに設定し、探触子に近い位置のEDMスリット(i)(深さ1.6mm)を表示器25%で検出することができた。また、図5(c)は位置Bに探触子を設置したときの探傷結果である。探傷感度を基準感度+12dBに設定し、探触子と反対側に位置するEDMスリット(i)を表示器12%で検出することができた。

なお、探触子設置面と反対側のスリットからのエコーの後方にいくつかの信号が観察される。これらの多重信号は、ボルト側面での反射によって生じたモード変換に起因する遅れエコーと考えられる。

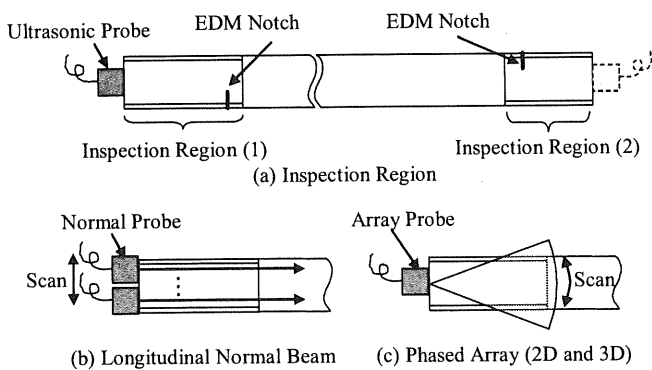


Fig.3 Inspection region and beam scanning

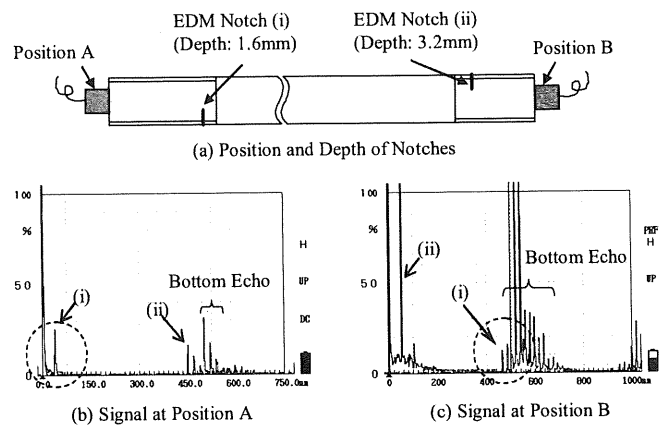


Fig.5 Results of longitudinal normal beam (M24 bolt)

### 3.2 フェーズドアレイ法（セクタ走査）

縦波垂直探傷法と同様に、全ての基礎ボルト試験体に対して、深さ1.6mm及び3.2mmのEDMスリットを検出することができた。

探傷結果例として、図6に、周波数5MHzのアレイ探傷子を用いてM24の基礎ボルト（EDMスリット(i)：深さ1.6mm）を探傷した結果を示す。健全部の場合と比較すると、EDMスリットのエコーを明瞭に検出していることが分かる。

また、波形のみの結果（Aスキャン）と比較して、セクタ走査による探傷画像では、ネジ部の形状が映像化され、EDMスリットの有無及び位置の識別が容易であることが分かる。

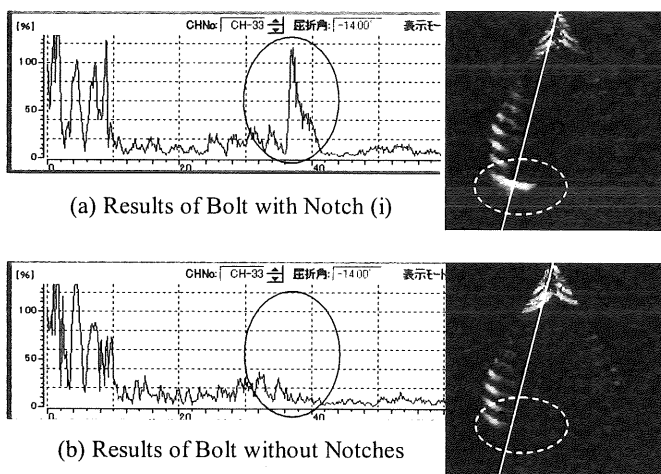


Fig.6 Results of phased array method (M24 bolt)

### 3.3 3Dフェーズドアレイ法

全ての基礎ボルト試験体に対して、深さ1.6mm及び3.2mmのEDMスリットを検出することができた。

3次元超音波探傷の例として、図7に、256素子マトリクスアレイ（5MHz）を用いてM24の基礎ボルト（EDMスリット(ii)：深さ3.2mm）を探傷した結果を示す。

3次元画像により、探傷範囲全体にわたって、健全部とスリット部を識別できるため、迅速な健全性評価が可能である。また、3次元画像から切り出した断面図（Cスキャン）により、EDMスリットの周方向の位置を判定することが可能である。

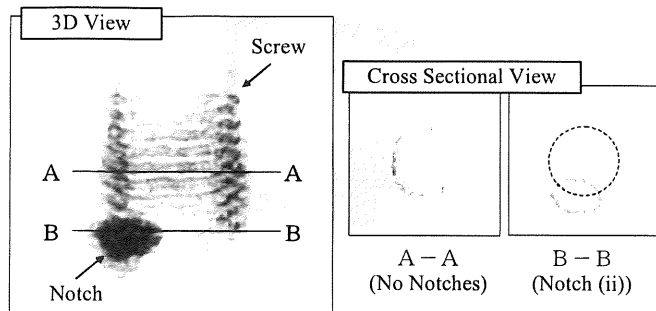


Fig.7 Results of 3D phased array method (M24 bolt)

## 4. 結言

寸法の異なる3種類の基礎ボルト試験体（M24, M48, M56）に対して、深さ1.6mm及び3.2mmのEDMスリットを付与して、超音波探傷法によりボルトの健全性を評価した。

- ・縦波垂直探傷法、フェーズドアレイ法（セクタ走査）、3Dフェーズドアレイ法のいずれの手法においても、全てのEDMスリットを検出できた。
- ・フェーズドアレイ法による探傷法では、探傷結果が画像化されるため、ネジ部（健全部）とスリット部の識別や、スリットの付与位置の判断が容易である。
- ・3Dフェーズドアレイ法では、広範囲を一度に映像化するため、探傷範囲全体を迅速に評価することができる。

## 参考文献

- [1] 木村康司, “締付けボルト超音波フェイズドアレイ探傷について”, 日本非破壊検査協会 超音波分科会, NDI資料No. 21787, pp.1-4, Nov. 2007
- [2] 城下悟, “超音波探傷試験による基礎ボルトの腐食検査に関する検討”, 日本非破壊検査協会 平成20年春季大会講演概要集, pp.163-164, May 2008
- [3] 電気技術指針 原子力編「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験指針」JEAG4207-2004 (社) 日本電気協会 原子力専門部会