

| | |
|--------------|---|
| Title | 点焦点型電磁超音波センサによるステンレス鋼溶接部の探傷に関する研究 |
| Author(s) | 芦田, 一弘 |
| Citation | 大阪大学, 2017, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.18910/69236 |
| rights | |
| Note | |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (芦 田 一 弘)

論文題名

点焦点型電磁超音波センサによるステンレス鋼溶接部の探傷に関する研究

論文内容の要旨

近年、老朽化した原子力発電所に対しては、「高経年化対策」の充実が、今後とも安全に運転するための最重要課題とされている。この高経年化対策の中でも、主要構成材料であるステンレス鋼材の溶接部に発生する応力腐食割れ (Stress corrosion cracking: SCC) の検出が極めて重要である。このSCCは超音波探傷試験 (ultrasonic test: UT) で検出を行っているが、従来のUTでは探傷面上にセンサを直接接触させて手動で走査を行うため、表面状態や探触子と探傷面の間に塗布する接触媒質の量によって試験結果が左右されやすい。よって、本研究では表面状態や接触媒質等の影響を除去することを目的に、非接触での超音波探触子の一つである電磁超音波センサ (Electromagnetic acoustic transducer: EMAT) に着目して、SCCの検出性に関する研究を行った。このEMATは超音波を直接試料内に発生させるため、表面状態の影響を受けにくい。

具体的な研究内容は、感度向上のため材料内の一点にSV波を集束させる新しい点焦点型EMAT (Point focusing electromagnetic acoustic transducer: PF-EMAT) の設計、およびステンレス鋼材でのスリットとSCCの検出が可能となるPF-EMATを新規に開発し、スリット試験片やSCC試験片を用いて検出性の確認を行った。かつ、この内容を踏まえてシミュレーションでの計算を行った。

研究結果は次のとおりである。(1) 開発したPF-EMATにより、ステンレス鋼材において深さ0.05 mmのスリットを検出可能であった。(2) 試験結果を左右する要因の影響については、従来のUTより小さく、再現性の高い計測が可能なが分かった。(3) 実際のSCCも検出できることが確認でき、切断確認結果から、深さ0.5mmのSCCが検出可能であった。(4) 超音波の伝搬状況をシミュレーションで可視化し、超音波が設計通りにスリットに到達していることが可視化できた。(5) スリットからの超音波の反射について、シミュレーションや数値解析を行ったところ、局所振動により超音波エネルギーの一部が使われるため、スリット深さの変化に対して受信振幅が振動することが分かった。これは、超音波探傷法全体に渡る有効な知見となった。本研究結果を踏まえて、SCC検出のための新しいツールとしてPF-EMATを提案したく考えている。

論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 (芦 田 一 弘) | | |
|-----------------|-----|---------------------------|
| | (職) | 氏 名 |
| 論文審査担当者 | 主 査 | 教 授 小 林 秀 敏 |
| | 副 査 | 教 授 田 中 正 夫 |
| | 副 査 | 教 授 尾 方 成 信 |
| | 副 査 | 教 授 荻 博 次 (大阪大学大学院 工学研究科) |

論文審査の結果の要旨

本論文では、原子力発電所などで使用されるステンレス鋼管の溶接部近傍に発生する応力腐食割れを、高い再現性で高感度に検出することができる超音波センサを開発することを目的とし、センサ開発と欠陥周りでの超音波の散乱解析を行っている。

非破壊検査で広く使われている圧電型超音波センサは、試験体表面に音響結合剤を塗布し、その上からセンサを押し付けて超音波の送受信を行うため、検査結果が押し付け力や表面状態などに影響を受けやすい。この問題を解決するために、本論文では、電磁超音波センサ (EMAT) とSV波と呼ばれる横波に注目している。EMATは、非接触で金属内に超音波を励起・検出するセンサであり、音響結合剤を必要としない。この性質を利用して、従来のセンサよりも高い検査の再現性を実現している。また、一般に、超音波センサから送信される超音波は、材料内を広がりながら伝播するため低感度であるが、本論文では、EMATで励起されるSV波が、特定の方向に強く伝播することを利用して、複数音源からのSV波を同位相で焦点に収束させる手法を考案し、高い空間分解能と微小欠陥に対する高い検出感度を有するセンサの設計・開発に成功している。この新開発のEMATセンサは、ステンレス鋼板に人工的に作製した深さ0.05 mmのスリット欠陥を有意に検出し、さらに、ステンレス鋼管に対しては深さ0.5 mmの応力腐食割れの検出に成功している。

超音波探傷では、一般に割れ等の欠陥からの反射エコーの高さを測定し、その大きさから欠陥寸法を推定する。多くの場合は、欠陥深さの増加に対してエコー高さも単調に増加するが、開発したセンサではこれとは異なる傾向が観測された。この傾向を理解するために、有限要素法を用いてスリット欠陥でのSV波の散乱を解析している。その結果、特定の深さのスリット欠陥においては、SV波が散乱する際にスリット周りに局所振動を励起し、入射したSV波のエネルギーが局所振動に費やされ、そのためエコー高さが低下することを明らかにしている。これは一般的な超音波探傷にもあてはまる現象であり、非破壊検査における重要な知見である。

以上のように、本論文では、従来の超音波センサに比べて、高い空間分解能や欠陥検出能力、再現性を有する、独自の点焦点型電磁超音波センサを開発し、その性能確認実験の際に確認された、欠陥周りでの局所振動という現象をも解明しており、非破壊検査への貢献だけでなく、超音波の伝ばに関する新たな知見を得ていることから、本論文を博士 (工学) の学位論文として価値のあるものと判断する。