

審査の結果の要旨

氏名 遊佐 訓孝

構造物、特に高い信頼性の要求されるものの健全性の確保は、現代における重要な問題の一つである。そのような構造物の一つである原子力プラントに対しては、従来は重要な機器に欠陥が発見された場合には、直ちに補修・交換を行うことが義務付けられていたが、昨年度の法改正により維持基準が導入され、欠陥が機器に及ぼす影響に基づいて機器の補修・交換が必要であるか否か、すなわち継続運転の可否を決定する事が可能となった。そのため、非破壊検査によって欠陥の形状を正確に把握することはこれまで以上に重要となってきた。本研究はこのような背景により実施されたものであり、電磁現象に基づく非破壊検査手法の一つである渦電流探傷法の探傷信号から欠陥形状を推定するための技術の高度化に関するものである。

論文の第1章では、このような本研究の背景、および渦電流探傷法の原理が述べられており、渦電流探傷法によって得られた探傷信号から欠陥形状を推定するためには、数値解析の援用を欠かすことができないということが説明されている。それに基づき、第2章において、数値解析により渦電流探傷信号を求めるためのいくつかの手法の詳細が解説されている。

本研究の具体的な成果は第3章以降である。

まず、第3章においては、軽水炉蒸気発生器伝熱管に発生した欠陥の形状推定のための数値逆解析アルゴリズムの開発が行われている。勾配法、ニューラルネットワーク法、そしてメタ戦略法に基づいた3つの手法が提唱され、数値解析データを用いた検証の後、実際に軽水炉蒸気発生器伝熱管の定期検査中に発見された応力腐食割れの探傷試験データに適用し、形状推定が行われている。得られている推定結果は真の形状とほぼ一致したものであり、数値解析を援用することで、渦電流探傷法が表面探傷のみならず欠陥形状推定のためにも有効な非破壊検査手法であるということが示されている。従来より渦電流探傷信号から欠陥形状を推定する試みは少なからず行われてきているが、実機に発生した応力腐食割れの形状推定の成功例についてはこれまで報告が無く、非常に価値の高い結果と知見が得られている。

第3章で得られた知見に基づき、応力腐食割れの数値解析モデルに関する考察が第4章

にてなされている。応力腐食割れを渦電流探傷法において取り扱う場合、微細な構造までを厳密に取り扱う必要は無く、ある導電率を有する領域としてモデル化することで、欠陥の境界形状のみを逆解析により推定することが示されている。

さらに、第3章で開発したアルゴリズムを用いた、厚肉ステンレス配管の外表面に発生した応力腐食割れの形状推定が第5章において行われている。渦電流の深い浸透を実現するためかなり低い励磁周波数を用いているにもかかわらず、良好な形状推定結果が得られており、よって、渦電流探傷法が極薄肉材のみならず原子力プラントの数多くの部位に対する体積検査手法として用いることが出来るという事を明らかとしている。本章においてはさらに渦電流探傷法の数値解析における塩化物誘起型の応力腐食割れの特徴も指摘しているが、これは今後実機適用にあたって重要な知見である。

第6章においては、渦電流探傷法のインコネル溶接部検査への適用について検討を行っている。原子炉容器下鏡のインコネル溶接部を模擬した平板溶接試験体を製作し、各種渦電流探傷プローブを用いた探傷実験を行った結果、表面の凹凸の程度が大きいにもかかわらず溶接ノイズの度合いは小さく、よって炉内構造物インコネル溶接部検査の検査手法として渦電流探傷法は有効であるとの結論を得ている。続いて、得られた探傷信号からの加工した人工ノッチの形状推定を行い、深さが5 mm以下の微小な表面欠陥に対して特に良好な推定結果を得ている。さらに、同一試験体に対するフェーズドアレイ超音波探傷試験を実施し、インコネル溶接部探傷における、渦電流探傷法と超音波探傷法の、欠陥形状推定能力についての比較も行っている。インコネル溶接部の検査手法の確立は、近年の原子力プラントの保全におけるもっとも緊急な問題の一つであり、本章における成果は、そのような問題に対する解決策の糸口を与えるものとして意義深い。

第7章では、磁性配管に対する渦電流探傷法の適用の高度化として、リモートフィールド渦電流探傷法におけるシールド材としての超伝導体の適用を提唱し、数値解析と探傷試験による評価を行っている。その結果、従来の手法では効果がなくなるような低周波励磁を用いた場合でも、超伝導体を用いた場合はシールド効果があり、リモートフィールド渦電流探傷信号を明瞭なものとする事が出来るということが示されている。

最終第8章は本論文のまとめであり、さらに今後実用化にむけて必要となる技術開発のロードマップについて議論を行っている。

以上のように、本論文における研究成果は、高い独創性を有しており、非破壊検査工学、さらには原子力プラントの保全に関する研究分野では非常に有用なものである。また、システム量子工学の発展に寄与するところが大きいと判断される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。