ステンレス鋳鋼超音波探傷試験システムの開発と実機適用

Development of ultrasonic testing system for cast stainless steel and application in the fields

石田 仁志 (Hiroshi Ishida) *1

要約 大きな結晶と材料異方性により超音波減衰が大きい,加圧水型原子力発電所(PWR)のステンレス鋳鋼製1次冷却材管の超音波探傷試験に対して、大型2振動子探触子と自動探傷装置からなる自動探傷システムを開発した.これまでに、モックアップ試験体による検証、社外確証試験等による検証により、欠陥検出に対する性能と有効性を確認し、実機配管においてもその適用性を確認した.

開発した自動探傷システムを実機の検査に適用するための試験手順書を作成し,これを準備す ることにより検査員がシステムに習熟することができた.開発したシステムは,実機の検査を行 う会社に技術移転され,原子力発電所の検査業務での使用が可能となった.

キーワード 加圧水型軽水炉,ステンレス鋳鋼,1次冷却材管,超音波探傷試験,2振動子探触子

Abstract The reactor coolant piping in pressurized water reactors (PWRs) is usually made of cast stainless steel which has a large attenuation due to the coarse grains and anisotropic crystal structure. In this work, an automatic scanning system with a large twin crystal transducer and an automatic scanning machine was developed for ultrasonic testing of the cast stainless steel piping. After that, performance and usefulness of defect detectability of the developed system were validated by a test with mock-up specimens at INSS and by a verification test out of INSS, and the applicability of the system was checked in the field.

Documents for the ultrasonic testing procedure with the developed automatic scanning system were prepared in order to apply the system to real plants, and the inspectors perfected themselves in the developed system by preparing the procedure. The developed automatic scanning system and the documents were transferred to the company dealing in inspections in the Kansai Electric Power Co., Inc. group for applications to e inspections in the utility's nuclear power plants.

Keywords PWR, Cast stainless steel, Main coolant pipe, Ultrasonic test, twin crystal transducer

1. はじめに

PWR (Pressurized Water Reactor,加圧水型軽 水炉)の1次冷却材管や1次冷却材ポンプケーシン グに,鋳造ステンレス鋼が使用されている.鋳造ス テンレス鋼は,鍛造ステンレス鋼と比較して非常に 大きな結晶組織を持ち,超音波探傷試験において, この結晶粒界とその異方性が材料中を通過する超音 波を散乱させるとともに伝搬方向を偏向させ,欠陥 識別性の低下や欠陥位置の誤認等を発生させる.

結晶異方性と結晶粒における超音波の散乱と減衰 への対処として,超音波探触子に,低周波数の縦波 を使い,送受信の振動子を分割した,集束型振動子の採用が有効である.INSSではこれらの特徴を持った探触子と自動探傷装置からなる,鋳造ステンレス鋼の1次冷却材管の超音波探傷試験システムを開発した.

これまでに社内外のモックアップ試験体による測 定試験,実機プラントの1次冷却材管による測定試 験を経て,開発した技術・システムが実用に供しう るものであることを確かめた.

開発したシステムを実機プラントの1次冷却材管 の恒常的な超音波探傷試験に供するために,探傷試 験に関する手順書を作成し,検査を行う会社への技

^{*1 (}株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

術の移転を行った.

本報では、本システムを開発し、実機適用に至る までの経緯を取りまとめた.

2. 開発

2.1. 超音波探触子の開発

結晶粒界での超音波の散乱減衰が顕著な鋳造ス テンレス鋼に対して、減衰を補償する手段として、 1MHzまたは0.5MHzの比較的低い周波数を採用し た.さらに、超音波のエネルギーを材料中に集束さ せる手段として、送信と受信を分離した2振動子を 用いた、それぞれの振動子は曲率を有する球面振動 子である⁽¹⁾.図1に、大型2振動子探触子の一例の 写真を、表1にその仕様の例を示す.配管板厚、配 管溶接部の表面凹凸状況、欠陥位置、端部エコーの 検出等に対して、探触子仕様のうち、振動子曲率、 入射角、送受信振動子の屋根角(両振動子の向き合 う角度)の最適化を図っている.



図1 大型2振動子探触子の例

表 1	大型2振動子探触子の仕様例	

型式	2振動子型
外径寸法	100L x 100W x 80H (mm)
超音波	縦波
周波数	0.5~1.0MHz
振動子形状	球面型
振動子寸法	36 × 76mm
屈折角	40~55度
焦点深さ	40~60 mm
重量	1.6kg

超音波探傷においては,探触子から材料中へ超音 波を入射させるために,水,油,グリセリン等の接 触媒質を使用する.開発した探触子は接触面が縦横 100mmと大きいため,探触子と材料の接触面全体 ヘグリセリン等の粘性物質を供給することが容易で ないことから,水を使用している.さらに,溶接部 のように配管表面の凹凸があっても水の供給と保持 が可能な,大型2振動子探触子用に専用ホルダを開 発した^{(1),(2)}.図2に,大型2振動子探触子用専用ホ ルダを示す.探触子ホルダ枠の下側にスカートを取 り付け,その内側に水を導入する構造としている.



図2 大型2振動子探触子用専用ホルダ

2.2. 自動探傷装置の開発

開発した大型2振動子探触子を適用するにあたっ て,探触子を配管表面上を走査させなければならな いこと,接触媒質として水を供給し続けなければな らないこと,さらに検査作業は原子力発電所の放射 線環境下で行われることから,自動探傷により検査 することとした.

探触子を保持し,配管表面上を移動走査させ,自 身も移動できる自動駆動機構および探傷データの採 取および保存を行うデータ処理装置からなる自動探 傷システムを構築した⁽¹⁾.図3に,自動超音波探傷 システムの構成を示す.

自動超音波探傷システムのうち自動駆動機構部に は、これまでに3機種を使用した.図4に、自動駆



図3 自動超音波探傷システムの構成



(1) 1号機



(2) 2号機



(3) 3号機

図4 自動探傷システム(自動駆動機構部)の改良

動機構部の3機種を示す.1号機には汎用の市販品 を使用し、大型2振動子探触子専用に2号機から独 自に製作した.2号機は4脚1組の吸着脚2組によ り歩行移動し、3号機は4輪により走行移動する. 2号機では、前述の大型2振動子探触子用専用ホル ダに使用する水が吸着脚に影響することから、車輪 走行へと変更し3号機とした.

3号機の重量は1号機から半減した 15kgとなり、

配管への取り付け・取り外しが容易となり、配管を 1周する探傷時間は1/4の約30分で可能となった.

データ処理装置により採取,保存された探傷デー タは,現場での探傷作業を行った後に現場以外の場 所で,欠陥の識別,判定等の分析作業が可能である.

3. 検証

3.1. 検証試験

開発した大型2振動子探触子および自動探傷シ ステムの性能を検証するために,実機配管を模擬 したモックアップ試験体⁽¹⁾を製作し,これに付与 した模擬欠陥の測定により,欠陥検出性を確かめ た.図5にモックアップ配管試験体を示す.直管部 は遠心鋳造製,エルボー部は静鋳造製の鋳造ステン レス鋼(CF-8M)を使用し,溶接施工されている. 試験体の溶接部付近に,板厚の30%相当の深さを 持つ疲労き裂1個,同10~40%のEDM(Electric





(2) 外観写真図5 モックアップ配管試験体

Discharge Machining, 放電加工)スリット4個, 溶け込み不良1個の合計6個の欠陥が導入されて いる.

開発した大型2振動子探触子および自動探傷シス テムを用いて,これらの欠陥の検出性能について, 他の手法との比較を行った⁽¹⁾.他の手法は,1振動 子または2振動子の縦波斜角探触子であるが,振動 子の寸法,周波数,集束型などの仕様が異なる探触 子を用いたものである.その結果,本システムでは すべての欠陥を検出できたが,他の方法では疲労欠 陥と板厚10%深さのEDMスリットを検出できない ものがあった.しかし,大型2振動子探触子により 欠陥であると判断された信号の中には欠陥ではない ものがあった.これは,大型2振動子探触子の焦点 深さが材料内表面としたことにより,通常では検出 されないレベルの材料内表面付近の形状,組織上の 変化をとらえたためと推定された.

この検証試験の他,国の事業へ参加することに よって,ステンレス鋳鋼配管のさらに多くの異なる 深さ寸法の疲労き裂の測定を行い,欠陥検出および サイジングに関する自動探傷システムの性能と有効 性を評価した⁽³⁾.

3.2. 実機適用性の検証

これまでに関西電力の原子力発電所の1次冷却材 管の測定試験を実施した.これによって,開発した 自動探傷システムについて,配管への取り付け・取 り外し,電気・水・空気の供給による作動,データ 採取,排水処理等,放射線下,狭隘という実機の環 境において作業を行う上で支障のないことを確かめ ることができ,実機適用性を検証した.なお,測定 結果は当該配管の健全性に関するデータとして提供 された.

4. 実機適用

開発した自動探傷システムが,原子力発電所の1 次冷却材管の恒常的な検査において適用されるため には、同じ検査性能が発揮され、同じ検査結果が得 られるような普遍的な技術とする必要がある.そこ で、この自動探傷システムがINSSまたは開発者に 依存することなく利用されるために、超音波探傷試 験に係る検査員の技量認定の仕組み⁽⁴⁾,すなわち,装 置,検査員とともに超音波探傷試験の性能に係る3 要素の一つである手順書の作成に着目した.

そのために,開発したシステムを用いた超音波探 傷試験のための試験手順書を作成した.手順書は, 使用機材,校正方法,基準感度設定方法および探傷 方法等から構成される.さらに,自動探傷装置の操 作マニュアル,大型2振動子探触子の性能評価要領 も作成した.これらの手順書等の作成およびその検 証に従事した者が,装置及び手順書に習熟すること となった.

以上から,開発した自動探傷システム,試験手順 書,これらに習熟する検査員が準備されることと なった.

なお,自動探傷システムによる検査技術は,関西 電力の原子力発電所の1次冷却材管の検査に適用す ることを前提に,INSSからこの検査業務を行う予 定の原子力エンジニアリング(株)に移転された.

5. 今後の展開

大型2振動子探触子を用いた自動探傷システム は、実機配管の検査への適用により、今後多くの知 見が得られるものと考えられ、その中には改良すべ き点も含まれ、さらに改良開発がなされるであろう. このように開発する側とこれを使用する側が連携し ていくことが重要であると認識している.

6. おわりに

大きな結晶と材料異方性により超音波減衰が大き いステンレス鋳鋼製1次冷却材管の超音波探傷試験 に対して,大型2振動子探触子と自動探傷装置から なら自動探傷システムを開発した.これまでに,モッ クアップ試験体による検証,社外確証試験等による 検証により,欠陥検出に対する性能と有効性を確認 した.さらには,実機配管においても適用性を検証 した.

開発した自動探傷システムを実機の検査に適用す るために、試験手順書を作成し、これを準備するこ とにより、これらに習熟する検査員も確保すること ができた.

開発したシステムは,実機の検査を行う会社に技 術移転され,再稼働後の原子力発電所の健全性評価 に有効に活用され,原子力発電の安全・安心に貢献 するものと期待される.

謝 辞

自動探傷システムは, INSS創立時から在籍さ れた黒住保夫博士が開発されたものです. 元INSS 西川嘉人氏はこれを引き継ぎさらに検証データの 蓄積をされました. 非破壊検査(株)においては, 松本博吉氏をはじめ多くの方々が実機適用性検証 に,松原重行氏, 川上護氏, 遠藤賢氏は, 手順書の 検討・作成を実施いただきました. ここに深甚なる 謝意を表します.

参考文献

- 黒住保夫, "鋳造ステンレス鋼の超音波探傷検 査技術の開発," INSS JOURNAL Vol.7, p.159 (2000).
- (2) 黑住保夫, "超音波探触子用局部水浸治具,"特 許4353604号 (2009).
- (3) 黒住保夫, "新開発自動超音波探傷システム を用いた鋳造ステンレス鋼中の欠陥検出感 度およびサイジング特性," INSS JOURNAL Vol.10, p.182 (2003).
- (4) American Society for Mechanical Engineers, Boiler and Pressure Vessel Code Section XI Appendix VIII, "Performance demonstration for ultrasonic examination systems," (2004).