

鑄造ステンレス鋼の超音波探傷技術

Ultrasonic Inspection of Cast Stainless Steel

原子力安全システム研究所 黒住 保夫 Yasuo KUROZUMI Non-Member

Cast stainless steel is widely used for reactor coolant piping in pressurized water reactors (PWRs). Its complex crystal structure hinders accurate ultrasonic inspection. This is because the large attenuation and scattering noise due to the coarse grain structure interfere with defect detection, and the ultrasonic wave velocity variations and beam skewing resulting from the anisotropic crystal structure make the determination of defect locations inaccurate. In this study, a large aperture twin crystal transducer with a local water immersing holder was developed in order to enhance the defect detectability for cast stainless steel. The defect detectability was improved by combining the transducer with an automated scanning device to create images of the inspection data. This automated ultrasonic inspection system was applied to a weld test assembly of the same scale as actual PWR primary coolant piping. The results demonstrated the defect detectability of this technique.

Keywords: Ultrasonic Inspection, Cast Stainless Steel, Twin Crystal Probe, Primary Coolant Pipe

1. 緒言

鑄造ステンレス鋼は、耐食性が良く、強度が高く、溶接性が優れているので、加圧水型原子炉 (PWR) の 1 次冷却材管、1 次冷却材ポンプケーシングなどに使用されている。これら 1 次冷却材圧力バウンダリー機器の溶接部は、定期検査中に供用期間中検査 (In-Service Inspection : ISI) として、超音波探傷検査が行われている。鑄造ステンレス鋼は、結晶粒が粗大であり、結晶異方性 (特に柱状晶を有する遠心鑄造材) を有するという特性を持つ。粗大な結晶粒は、材料中を透過する超音波ビームの散乱、減衰を引き起こし、SN 比 (Signal Noise 比) の低下すなわち欠陥検出性低下の原因となる。このため、鑄造ステンレス鋼の超音波探傷検査は、欠陥の識別に関し、熟練検査員の経験および技量を必要としていた。散乱・減衰への対処法として、比較的 low 周波の超音波を使用すること、材料中で超音波を光学的に集束させる集束探触子や送受信振動子分割方式によりたものが開発あるいは推奨されている。[1-9]

本研究においては、球面振動子を送信側、受信側それぞれに搭載した大型 2 振動子探触子を開発した。この探触子は、高いエネルギーの超音波を発生し、球面振動子と 2 振動子の両方の集束効果により、材料の目的の位置に効率的に超音波を伝えることが可能である。この探触子を専用の自動走査機構に取り付け、実機と

同寸の一次冷却材管溶接部試験体を用いて自動超音波探傷した。

2. 配管試験体自動超音波探傷の実施

2.1 装置

自動超音波探傷では、一度超音波探傷データを採取すれば、欠陥かどうかを識別するための分析作業は、場所を移して行うことが可能である。したがって、本研究でも 1 次冷却材管のような放射線環境下の超音波探傷に適していると判断し、自動超音波探傷を採用することとした。[10] 本研究で採用した自動超音波探傷システムを Fig.1 に示す。

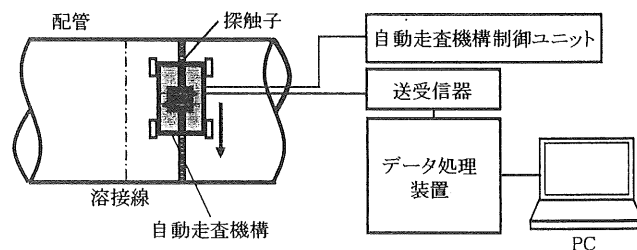


Fig.1 自動超音波探傷システム

自動駆動機構のフレーム上に探触子が配置され、探触子は配管の軸方向を往復する。同時に自動駆動機構全体が配管周方向に移動する。高速データ処理装置/送受信器は、探触子への送受信を行うと同時に、各位置での A スキャンデータを探触子位置情報とともに採取

連絡先:黒住保夫、〒919-1205 福井県三方郡美浜町佐田 64、(株)原子力安全システム研究所、電話: 0770-37-9100、e-mail:kurozumi@inss.co.jp

し、制御装置のハードディスクに保存する。

Fig.2に本研究で開発した大型2振動子探触子の概念を示す。本研究では、大型の球面振動子(76mmφ)を2つに分割、送受信側に配置し、集束型探触子と2振動子探触子の両方の相乗効果をねらった大型2振動子探触子を製作した。

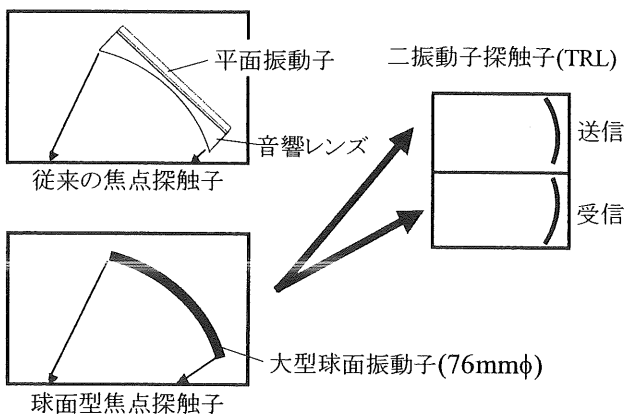


Fig.2 大型2振動子探触子

Fig.3は大型2振動子探触子の設計画面の例である。振動子の各部分から発生した超音波が材料の裏面で集束している様子が見える。ただし、振動子の下半分は、超音波の集束に効果的に寄与していないこともわかる。なお、本探触子の周波数と超音波のモードならびに入射角に関しては、関連する各種研究成果を参考に、1MHz、縦波、45°とした。

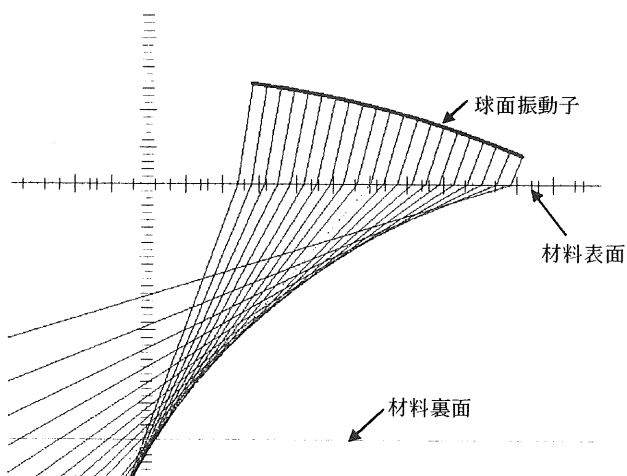


Fig.3 大型2振動子探触子の設計画面例

2.2 試験体

本研究では、人工欠陥を有する加圧水型炉の1次冷却材配管溶接部を模擬した実寸大の試験体を製作した。Fig.4に試験体の写真を示す。直管部は遠心铸造製、エルボ一部は静铸造製の铸造ステンレス鋼(CF-8M)を使用し、溶接施工されている。直管部板厚は約70mm、エルボ一部板厚は約90~110mmであるが、溶接部内面にカウンターボアが施工されている。このため、溶接部付近の板厚は配管側で約67mm、エルボ側で約72~77mmである。溶接余盛り部表面は、手入れがなされているが、配管と余盛りの境界部に約3~5mmの凸凹が存在する。

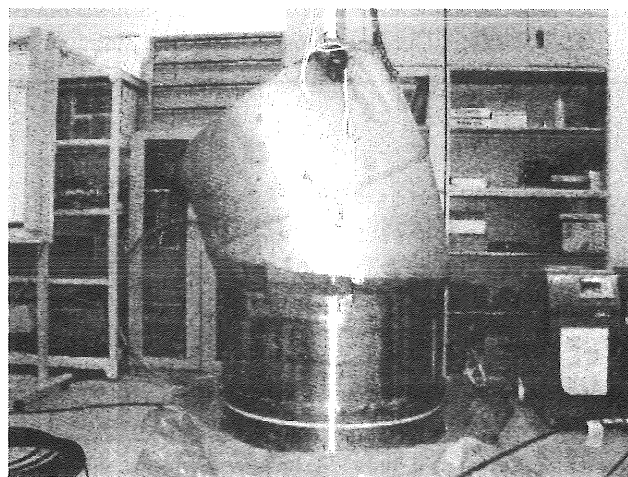


Fig.4 1次冷却材配管模擬試験体

試験体の溶接部付近に、人工的に数個の欠陥を導入した。欠陥の大きさ(深さ)は、試験体の板厚 t (=70mm)に対する%で表すと10% t ~40% t である。なお、1箇所溶け込み不良以外の欠陥は、全て配管内表面の開口欠陥である。

2.3 試験の結果

本自動探傷においては、配管軸方向に1mm、配管周方向に3mmピッチで、A-scanデータを採取した。このA-scanデータを探触子位置情報をもとにB、C、D-scan画像を表示した。B-scanは溶接線に垂直な断面、C-scanは上から見た平面、D-scanは溶接線に平行な断面のイメージである。各-scanにおいて、信号強度に応じて色が変化する。C-scanにおいては、A-scanのうち、あらかじめ定められた範囲の最大値が表示される。このように視覚的に信号強度を表示することにより、铸造ステ

ステンレス鋼のようなノイズが多く探傷データの SN 比の悪い状況でも欠陥の識別が容易になった。

Fig.4 に探傷結果の画像表示例を示す。図中の C-scan 画面から 2 個の欠陥の存在が識別できる。

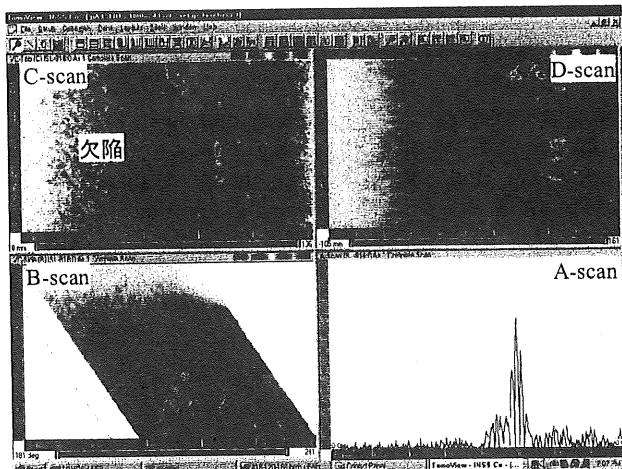


Fig.5 探傷結果の例

このように、新しい探触子および自動超音波探傷の適用により、鋳造ステンレス鋼中欠陥の信号識別性が、飛躍的に向上した。

3. 結言

- 1) 開発した大型の球面振動子を用いた 2 振動子探触子は、従来の探触子と比べ、はるかに高 SN 比で欠陥を検出することが可能であった。
- 2) 探傷結果を画像表示することにより、欠陥の識別性が向上した。その結果、実機大の 1 次冷却材配管模擬試験体の全ての欠陥を検出することができた。
- 3) 開発した自動超音波探傷システムは、実際の PWR 原子力発電所に適用可能である。
- 4) 全ての欠陥を検出する一方で、欠陥の誤識別も発生した。これは、開発した探触子の感度が鋭いことと、超音波の焦点深さの照準が、材料の内表面に合わせてあることが原因であると思われる。
- 5) 実機適用にあたっては、欠陥が検出された場合のサイジングが必要である。本手法による欠陥のサイジング精度に関する検証が今後必要になるとと思われる。

参考文献

- [1] 西野俊一, 肥田善雄, 山本通雄, "オーステナイト系ステンレス鋼溶接部超音波探傷法の研究", 三菱重工技報, Vol.18, No.6, pp.783-788 (1981)
- [2] (財) 原子力工学試験センター, "溶接部等熱影響部信頼性実証試験に関する調査報告書", (1983)
- [3] P Dombret, P Caussin, P Rorive, "Developing ultrasonics for PWR pump bowl in-service inspection", Nuclear Engineering, Vol.35, pp.42-44 (1990)
- [4] P.Dombret, "Methodology for the ultrasonic testing of austenitic stainless steel", Nuclear Engineering and Design 131, pp.279-284 (1991)
- [5] C.Boveyron, D.Villard, R.Boudot, "Ultrasonic Testing of Cast Stainless Steel Components", Proc. 11th Int. Conf. on NDE in the Nuclear and Pressure Vessel Industries (1992)
- [6] C.Boveyron, D.Villard, R.Boudot, "Ultrasonic testing of cast stainless steel components", EDF-93-NB-00096 (1994)
- [7] M.Serre, P.Benoist, D.Villard, N.Mathan, "Enhancement of ultrasonic non-destructive techniques for the inspection of cast stainless steel components", EDF-96-NB-00060 (1995)
- [8] C.Poidevin, M.Serre, O.Roy, N.Mathan, D.Villard, "Ultrasonic examination of cast stainless steel", 14th Int. Conf. on NDE in the Nuclear and Pressure Vessel Industries (1996)
- [9] P.Lemaitre, T.D.Koblé, "Report on the evaluation of the inspection results of the cast-to-cast PISC III Assemblies no.41, 42 and weld B of Assembly 43", PISC III Report no.34 European Commission, (1995)
- [10] Kurozumi, "Development of an ultrasonic inspection technique for cast stainless steel", INSIGHT, Vol.44, No.7, pp437-442(2002)