

ガイド波を用いた大口徑配管の減肉検査技術

Wall Thinning Inspection Technique for Large-Diameter Piping using Guided Wave

(株)日立製作所	三木 将裕	Masahiro MIKI
(株)日立製作所	永島 良昭	Yoshiaki NAGASHIMA
(株)日立製作所	遠藤 正男	Masao ENDOU
日立 GE ニュークリア・エンジニア(株)	小平 小治郎	Kojiro KODAIRA
(株)日立エンジニアリング・アント・サービス	真庭 一彦	Kazuhiko MANIWA

Guided wave inspection technique is effective for detecting defects like corrosion in piping, because it can perform long range inspection. It is possible to expect this inspection as a method that leads to the decrease of the inspection process and its cost, because the incidental work can be reduced. Especially, the contraction effect of the inspection work is extensive in large-diameter piping inspection. In this paper, we introduce the guided wave inspection system to large-diameter piping. The feature is a guided wave sensor that can freely transform according to the curvature of inspection object, and portable inspection equipment. We discuss the result of detection examination for artificial wall-thinning in large-diameter piping using this system.

Keywords: Ultrasonic inspection, Guided wave, Corrosion, Large-diameter Piping

1. 緒言

発電プラント、産業プラントをはじめとする各種機器を構成する配管は、エロージョンやコロージョンに起因する減肉が発生する可能性があるため、配管肉厚を定期的に測定し、減肉管理を行う必要がある。減肉を検出する方法として、超音波厚さ計を用いて一定間隔の測定点での肉厚測定が一般に実施されている。しかし、保温材の撤去、高所作業の場合の足場組立て等の検査に係わる付帯作業が検査作業工数に占める割合が多く、付帯作業の縮小により検査効率が向上できる。また、構造上の要因により検査員が接近できない箇所もあり、新たな非破壊検査手法が必要である。

近年、超音波厚さ計による減肉管理法の代替技術として、ガイド波によるスクリーニング検査技術[1]の開発が活発である。ガイド波検査は、1箇所のセンサ設置で長距離を一括で検査できる特徴がある。このため、センサ設置部を除いて保温材を撤去する必要がなく付帯作業を削減でき、検査工程短縮及びコスト低減に繋がる手法として期待できる。特に大口徑配管では、付

帯作業が大掛かりになることや超音波厚さ計による測定点が膨大になるため、ガイド波検査の適用による作業工数の低減効果は大きい。

本稿では、大口徑配管に対するガイド波検査システムについて紹介する。本システムの特徴は、検査対象の曲率に合わせて自在に変形できる構造のガイド波センサと、ポータブルなガイド波検査装置である。このシステムを用いて、大口徑配管に付与した模擬減肉に対する検出試験結果を報告する。

2. ガイド波検査技術

ガイド波を用いた配管検査の概要を Fig 1 に示す。配管周方向に設置したセンサから超音波を入射し、配管軸方向に伝播するガイド波を発生させる。配管軸方向に伝播したガイド波は、減肉等の形状変化部があると反射波が発生する。この反射波を受信センサで受信し、その伝播時間から形状変化部(反射源)位置を計算し、反射波強度から減肉の大きさ(一般に、配管断面積欠損率=減肉部の管周方向断面積 / 健全部の管周方向断面積)を評価する。通常、送信センサと受信センサは一体である。

ガイド波の送受信方式として、弊社では圧電素子型超音波探触子を採用している。送受信方式に関する特徴を Fig.2 に示す。周方向に配置した超音波探触子を管

連絡先：三木将裕、〒319-1221

茨城県日立市大みか町 7-2-1、(株)日立製作所

エネルギー・環境システム研究所、電話：0294-52-9409、

e-mail : masahiro.miki.np@hitachi.com

軸方向に前後2列並べる。ここで、前後2列に並べた探触子群の間隔を1/4波長とする。この条件で、送信波の発信タイミングを進行方向後列のみ逆位相で1/4周期遅延すると、後方へ進行するガイド波を打ち消すことができ、アクティブに送信方向を制御できる。また、探触子の前後列間距離の波長比と遅延制御の周期を一致させることで、前方進行波の強度を倍増することができる。なお、受信波についても、送信時の逆過程であることを考慮すると、前後列での受信波に位相差を考慮した重ね合せ処理を行うことで、送信方向からの反射波成分のみを識別でき、減肉の検出精度を向上できる。

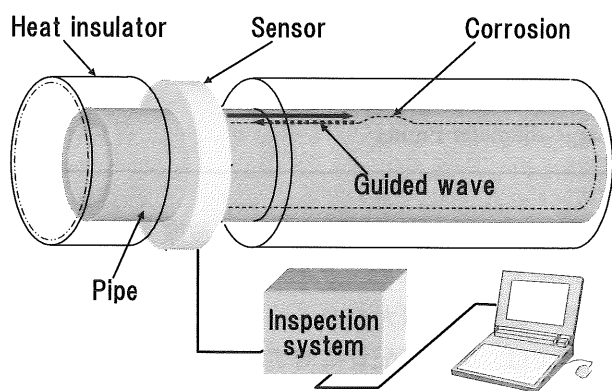


Fig.1 Overview of pipe inspection using guided wave

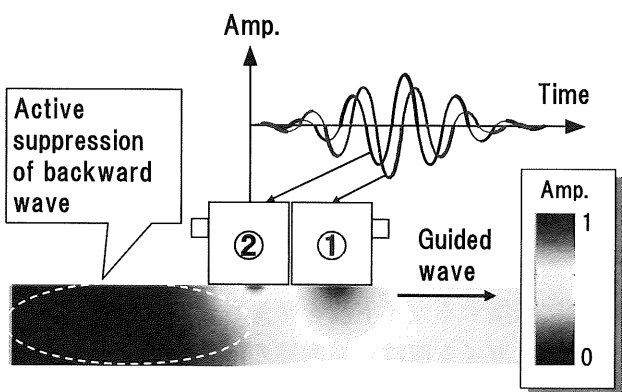


Fig.2 Feature of transmitted method

3. ガイド波センサと検査システム

ガイド波検査では、配管周方向の全方位にセンサを配置する方式が一般的である。しかし、大口径配管や曲率が大きい検査対象の場合、検査対象の全範囲を包括するセンサは大型構造となるため、センサ設置作業

が大掛かりになり、非効率である。そこで、検査範囲を複数範囲に分割して検査することでセンサ構造を適正化でき、設置方法等の効率化が図れる。

このような考えに基づき製作した部分設置型ガイド波センサを Fig.3 に示す。この写真は、1100A 配管に設置した状態である。このセンサの特徴は、周方向に対して変形できる機構とし、500A 配管の曲率から平板まで様々な曲率に追従できる点である。また、配管へのセンサの固定は、設置時の調整作業が簡便な吸盤構造を用いた負圧方式とした。また、このセンサでは、探触子を送信方向に対して前後2列に配列するため、前述のようにアクティブな送信方向制御ができる。

試験に使用するガイド波検査装置を Fig.4 に示す[2]。波形発生器、パワーアンプ、A/D 変換器等を内蔵する装置本体とコンピュータで構成される。本検査装置は、上述の大口径配管向け部分設置型センサでも、中口径配管向けリング状ガイド波センサでも対応できる。センサを構成する探触子は、すべり振動の超音波振動子を有し、水を包含する配管でもほとんど減衰がない非分散性のねじり振動 $T(0, 1)$ モードのガイド波を送受信する。

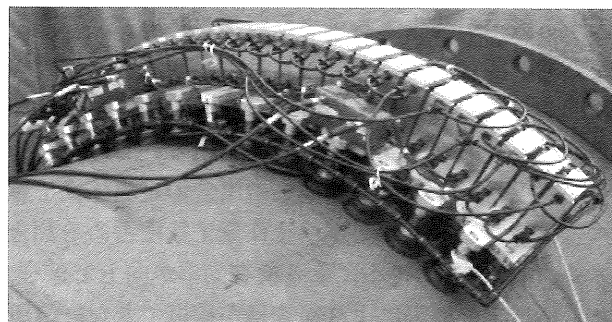


Fig.3 Partial set guided wave sensor

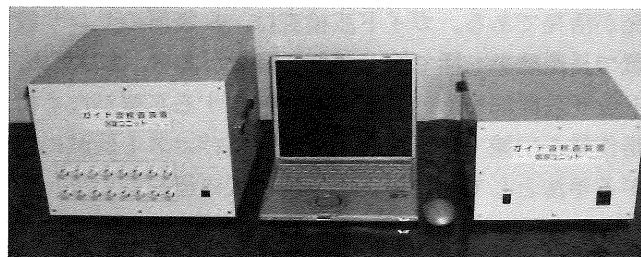


Fig.4 Guided wave inspection system

4. 試験結果

前章で説明した部分設置型センサの減肉検出性能に関する試験結果を以下に記す。

はじめに、500A 配管に対する試験について記す。試験体を Fig.5 に示す。口径 500A、板厚 9.5mm、管長 6m の炭素鋼配管で、内面にポリエチレンライニングを施工している。模擬減肉は 2 箇所、配管内面へ局所的にグラインダで加工した。減肉 A は 180° 方位に付与し、大きさは配管断面積欠損率 3% 相当である。減肉 B は 270° 方位に付与し、大きさは配管断面積欠損率 5% 相当である。

試験結果を Fig.6 に示す。センサは管端から 1.5m 位置に設置し、3 つの波形は周方向方位 0°、180°、240° の位置で測定した。センサを 180° 方位に設置した場合、センサ中心が減肉 A の方位と一致するが、減肉 A はもちろん減肉 B も検出できる。しかし、240° 方位にセンサを設置した場合、センサ中心が減肉 A の方位とずれるため、減肉 A の反射信号強度が低下する。しかし、減肉 B の位置がセンサ中心に近づくため、減肉 B の反射信号強度が増加する。また、0° 方位にセンサを設置した場合、減肉 A はセンサの真裏となるため検出できない。

この試験結果から、部分設置型センサを用いたガイド波検査で減肉を検出できることを確認した。また、センサ位置に応じて検査波形が異なることを利用して、センサを周方向に移動することにより減肉の周方向方位の推定が可能であることが示された。

次に、1100A 配管に対する試験について記す。試験体を Fig.7 に示す。口径 1100A、板厚 9.5mm、管長 6m の炭素鋼配管で、内面にポリエチレンライニングを施工している。減肉は 3 つ (C、D、E) 付与した。減肉 D および E は孔食等のピット状減肉を模擬したドリル穴であり、減肉 D の形状を Fig.7 中に記す。なお、減肉 E は減肉 D と同形状のものを周方向へ並列に配置し、減肉 D の 2 倍の大きさの減肉を模した。また、管端部にはフランジが接合されている。

1100A 配管に付与した減肉 C (配管断面積欠損率 1% 相当) の検出波形を Fig.8 に示す。この波形はセンサを減肉 C と正対して測定したが、センサから 2m 位置の減肉 C を検出できた。なお、センサから 4.2m 位置に出現した信号は、減肉の反射信号ではなく、フランジ端からの反射波が曲げ振動 F(1,2) モードに変換した成

分である。これより、500A および 1100A の曲率が異なる配管においても、減肉を検出できることを示した。

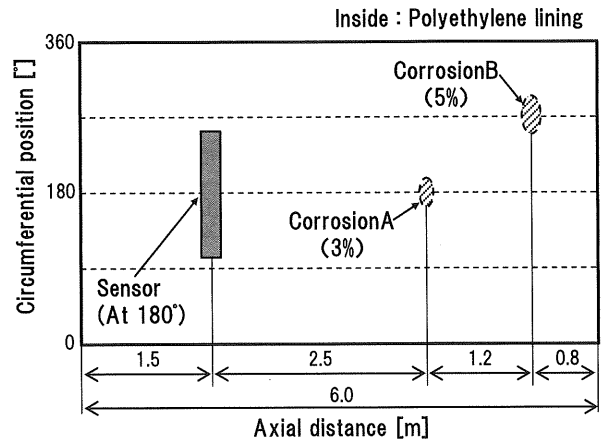


Fig.5 500A pipe specimen

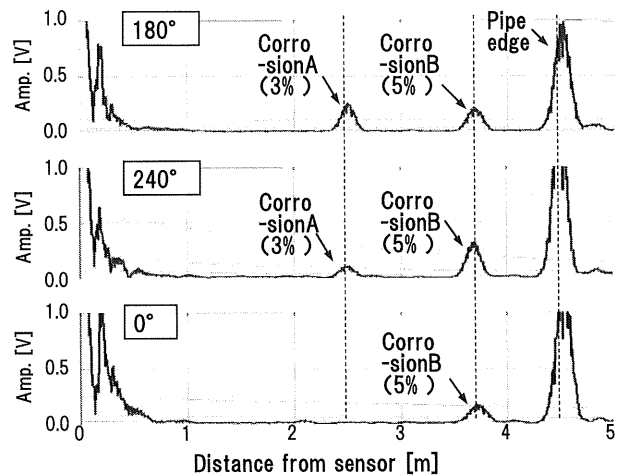


Fig.6 Experimental result for 500A pipe

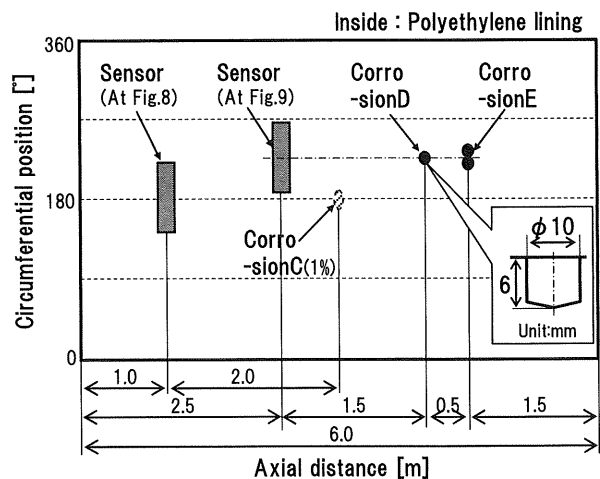


Fig.7 1100A pipe specimen

次に、ドリル穴（減肉 D および E）に対する試験結果を示す。Fig.9 に示す 3 つの波形は、管端から 2.5m の位置にセンサを設置したときの結果であるが、センサと減肉の周方向相対位置がそれぞれ異なる。

Fig.9 (a)は減肉 D および E に正対した位置にセンサを設置した場合の結果であるが、減肉 D および E を検出できた。Fig.9 (b)は減肉 D および E に対してセンサ幅の 1/4 ずれた位置での結果である。センサが減肉に対して偏心した状態であるが、センサが正対した場合より振幅は小さくなったものの、減肉 D および E を検出できた。Fig.9 (c)はセンサ端に減肉 D および E が位置する場合の結果であり、センサが減肉に対して大きく偏心した状態である。この場合、減肉からの反射強度が低下し、減肉からの信号と減肉以外からの信号（ノイズ）との振幅比（SN 比）が小さくなり、減肉識別性が低下する。

これらの結果から、部分設置型センサを用いたガイド波検査では、センサを周方向に検出したい減肉に応じた適切なピッチで移動して検査することで、高精度で効率よい減肉検査が可能である。

5. 結言

大口径配管に対するガイド波検査システムを開発し、大口径配管を用いた減肉検出試験を実施した。

- 1) 検査対象の曲率に合わせて自在に変形できる構造の部分設置型ガイド波センサと、可搬性のガイド波検査装置からなる検査システムを開発した。
- 2) このシステムを用いて、500A 配管および 1100A 配管の減肉を検出できることを確認した。

参考文献

- [1] 池田隆 他 4 名、“プラント配管の検査実務におけるガイド波技術の展開”、非破壊検査、Vol54、No.11、2005、pp.595-599.
- [2] 小平小治郎 他 3 名、“ガイド波による配管減肉検査システム”、日本保全学会第 5 回学術講演会論文集、2008、pp.305-307

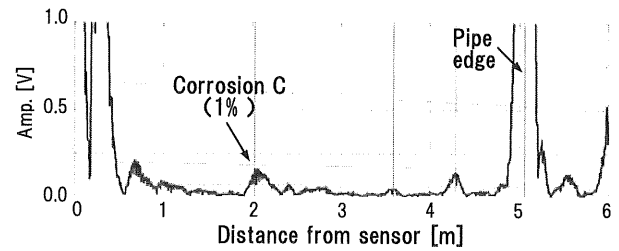


Fig.8 Experimental result of corrosion C (Sensor at 180°)

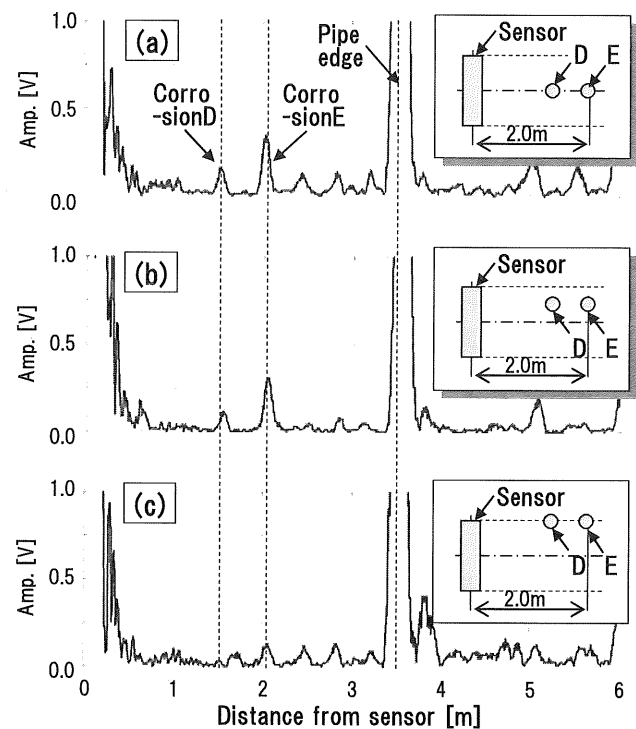


Fig.9 Experimental result of corrosion D,E for 1100A pipe