マイクロ波の時間領域測定による配管減肉の非破壊評価

Nondestructive Evaluation of Wall Thinning in Pipes

by Time Domain Measurement of Microwaves

○近藤 佑輔 (名大) 正 細井 厚志 (名大) 正 巨 陽 (名大)

Yusuke KONDO, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya
 Atsushi HOSOI, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya
 Yang JU, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya

Key Words: Microwave, Nondestructive evaluation, Wall Thinning, Pipe, Time domain

1. 緒言

近年、配管減肉に起因した事故がたびたび報告されている。安全・安心な社会を構築するため、高経年エネルギー機器の状態監視技術の更なる高度化は必要不可欠である。その中でも、配管の状態監視技術の実現は、そのニーズが非常に高いにもかかわらず、いまだ確立されていない状況にある。

これまで円型導波管内マイクロ波の伝播原理に基づき、マイクロ波を配管内に伝播させ、マイクロ波の波長が配管の内径に依存する特徴を利用して計測を行った。この手法は、減肉量に伴い変化する共振周波数を測定することにより、広範囲、高速かつ簡便に減肉量を定量評価できる。しかし、この手法では、減肉の位置を特定することは難しい。そこで、本研究では、時間領域測定法により減肉位置を評価することを目的とした。

2. 測定原理

時間領域測定とは、ある周波数領域におけるマイクロ波信号の応答を時間領域に変換する手法であり、マイクロ波信号の波形の変化からマイクロ波が反射された位置を特定することができる。周波数領域として得た結果に逆フーリエ変換を適用することで、マイクロ波が欠陥や端部で反射した時間を測定することができる。配管内径が変化する箇所では、特性インピーダンスが変化し、マイクロ波が反射される。その反射波を検知することによって減肉の位置を特定することが可能となる。

3. 実験方法

3.1 実験装置 Fig. 1はマイクロ波による配管減肉測定システム写真を示している。本実験では、長さ900 mm、内径17 mm、肉厚1 mmの軸対称の直線銅配管を用いた。配管の一端は、マイクロ波同軸ケーブルセンサと接続され、もう一端は異なる減肉を導入するために、減肉ジョイントと接続されている。Table 1に各ジョイントの減肉条件を示す。さらに、マイクロ波信号の反射によって配管端部の位置を確認するために、脱着可能な金属の短絡キャップを装着し、配管端部で短絡端を形成した。Fig. 2に配管のモデル図を示し、Fig. 3に減肉ジョイントおよび短絡キャップの写真を示す。

3.2 測定条件 5種類の減肉ジョイントを用い、配管端部に短絡キャップを装着し、短絡端を形成させた状態で実験を行った。配管のキャップ側の端部及び減肉部によるマイクロ波の反射波を検出し、測定結果より減肉位置の特定と減肉量について検討した。マイクロ波の掃引周波数は10.5~40 GHzとし、逆フーリエ変換を行うことで時間領域測定を行った。

Fig. 1. Photograph of wall thinning measurement system by microwaves.

Table 1. Conditions of wall thinning joints.

Thickness reduction [%]	Wall thickness [mm]	Inside diameter [mm]	Length [mm]	Wall thinning Volume [mm ³]
3	0.97	17.06	17	27.29
20	0.8	17.4	17	183.72
40	0.6	17.8	17	371.71
60	0.4	18.2	17	563.98
80	0.2	18.4	17	760.52

Fig. 2. Model of a pipe with a wall thinning joint and a cap.

Fig. 3. Photograph of wall thinning joints and a cap.

4. マイクロ波時間領域測定結果

Fig. 4 は端部に減肉ジョイントを取り付けずキャップのみを装着した 900 mm 配管におけるマイクロ波信号の反射係数の振幅と掃引したマイクロ波の反射時間の関係を示す。Fig. 5 は Fig. 4 の丸で囲われている $7 \times 10^{-9} \sim 9 \times 10^{-9}$ sec の部分を拡大した波形である。Fig. 6 及び Fig. 7 は 900 mm 配管にそれぞれ 3%, 40% の減肉ジョイントとキャップを装着し、時間領域測定を行った結果を示す。Fig. 4 より配管のセンサー側端部と減肉ジョイント側端部の反射による波形には振幅が大きい部分があり、反射のピークはそれぞれ最大ピークの 0.372×10^{-9} sec と 8.09×10^{-9} sec となっている。この間のマイクロ波の伝播距離は 1800 mm であるため、今回の配管の内径、伝播モードによるマイクロ波の伝播速度は 2.33×10^8 m/s となる。また、Fig. 5 の丸で囲まれている三つのピークは 2.33×10^8 m/s で伝播しているマイクロ波が配管端部により反射されて現れたピークであり、そのときの時間をグラフ上に記入しておく。本実験でのマイクロ波の伝播速度での減肉キャップ 17 mm を伝播するのに要する時間は 0.146×10^{-9} sec となり、Fig. 6 の丸で囲まれている部分は Fig. 5 の丸で囲まれている部分よりそれぞれ約 0.15×10^{-9} sec 遅れていることから減肉キャップの端部の反射によるピークであると推定される。四角で囲まれている部分は Fig. 5 における丸で囲まれているピークとほぼ同じ時間となっているため、約 900 mm 地点による反射を示していることがわかる。従って、四角で囲まれている部分が減肉部の反射によるピークを示していると考えられ、その反射波には減肉の情報が含まれている。Fig. 7 は同様に丸で囲まれている部分が短絡キャップの端部、四角で囲まれている部分が減肉部の反射によるピークを示している。Fig. 6 及び Fig. 7、その他の減肉ジョイントを取り付けた場合の結果はほぼ同様の結果となった。

Fig. 8 は Fig. 6 及び Fig. 7、その他の減肉ジョイントを取り付けた場合の 7.95×10^{-9} sec 付近のピークの振幅の値を各減肉率についてまとめた結果を示している。Fig. 8 は減肉率が増大するにつれて振幅が減少していく傾向が確認できた。また、 8.02×10^{-9} sec 付近についても確認してみたところ Fig. 8 と同様に減肉率が増大するにつれて振幅が減少していく傾向が確認できた。従って、振幅の変化により減肉量を定量評価することが可能であるとわかった。

5. 結言

本研究でマイクロ波の時間領域測定を行うことにより、配管のセンサー側端部と減肉ジョイント側端部による反射を確認することができた。本研究の結果より、マイクロ波信号の反射の位置を定量的に評価することが可能であり、減肉量に依存して、減肉による反射波の測定感度が変化することがわかった。

Fig. 4. Relationship between the amplitude of reflection coefficient and the time without a wall thinning joint and with a cap.

Fig. 5. Relationship between the amplitude of reflection coefficient and the time without a wall thinning joint and with a cap.

Fig. 6. Relationship between the amplitude of reflection coefficient and the time with 3% wall thinning joint and a cap.

Fig. 7. Relationship between the amplitude of reflection coefficient and the time with 40% wall thinning joint and a cap.

Fig. 8. Relationship between the amplitude of reflection coefficient and the rate of wall thinning.