

# 電磁超音波探触子 (EMAT) を用いた 配管架台接触部の外面腐食検査技術

住友化学株式会社 生産安全基盤センター  
楠 本 達 也

## はじめに

プラントの高経年化に伴い、炭素鋼製配管の外面腐食が大きな問題となっている。特に配管の架台接触部は、「隙間に雨水などの水分が滞留しやすい」、「配管が熱伸縮した際に架台と擦れて塗膜が剥がれやすい」、「再塗装などのメンテナンスが困難である」などの理由から外面腐食が発生・進展しやすい部位である。このため、配管の架台接触部は外面腐食点検における重要ポイントとされているが、架台の数は配管敷設距離に比例するため膨大であり、目視検査を中心とした一次検査だけでも多大な時間を要する。また、一次検査の結果（錆の発生量や塗膜の剥がれ）や配管の重要度に応じて、二次検査の必要な箇所が選定され、超音波等を利用した非破壊検査手法を用いて二次検査を実施する。二次検査の際は、配管表面の塗膜や錆を落とすクレン作業など、検査実施のための付帯工事が必要であり、腐食減肉が進行して危険な状態にありながら検査の実施が間に合わない事態が懸念される。そこで、超音波を非接触で励起できるという電磁超音波探触子 (Electromagnetic Acoustic Transducer: EMAT) の特性を活かした配管架台接触部の外面腐食検査技術を開発した。検査部位の前処理簡略化により、短時間・低コストで実施可能な二次検査手法として位置付けることで、さらに配管の架台接触部の信頼性を上げたいと考えている。

## EMATの配管架台接触部の外面腐食検査への応用

### 1. 従来の配管架台接触部の外面腐食検査

配管の外面腐食部の残肉厚を測定する場合、デブスゲージや超音波厚さ計を用いる手法が一般的である。ただし、これらの手法は腐食部にゲージやセンサーを直接適用する必要があり、配管架台接触部の外面腐食検査に適用する際には配管を持ち上げなければならない。配管の持ち上げには多くの工数がかかる上、安全面や構造面での理由で配管を持ち上げ

ることができない場合が多々あるため、配管を持ち上げることなく配管架台接触部の外面腐食検査を行うことができる技術が必要とされてきた。

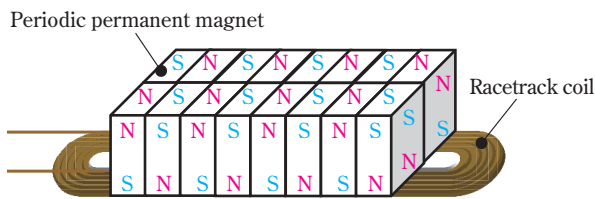
そのような背景の下で様々な検査技術が開発されており、超音波を配管の軸方向や周方向に伝播させ、超音波の減衰率や時間遅れから減肉率を評価するといった手法が普及している<sup>1)~4)</sup>。これらの手法は一般的な超音波探触子と探傷装置を用いて行われるが、一般的な超音波探触子は探触子内部の圧電素子製の振動子から超音波を発生させる。したがって、超音波を配管に効率よく伝達させるためには、配管の探触子接触面の塗膜や錆を除去し、グリセリンペーストなどの接触媒質を塗布する必要がある。塗膜や錆を除去するための前処理に工数・費用がかかる上、接触媒質の塗りムラや探触子を押し当てる圧力によって超音波の伝達効率が変化するため、検査品質が検査員の技量に大きく左右される。また、一般的な探触子では超音波の振動方向が面外方向となるため、内部流体の影響を受けやすいというデメリットも有する。

### 2. 開発技術の概要

現在普及している検査技術が有するデメリットを解消するため、EMATを利用した配管架台接触部の外面腐食検査技術を開発した。

EMATは磁石とコイルによって構成される探触子であり、ローレンツ力や磁歪といった電磁氣的な作用により、導電性の被検体中に超音波を励起させることができる<sup>5)</sup>。EMATを構成する磁石やコイルの形状、配列を工夫することで励起させる超音波の種類を変化させることができるため、用途に応じた様々な構造のEMATが存在するが、開発技術ではSH (Shear Horizontal) 波を選択的に励起させる構造のEMATを用いる<sup>6),7)</sup>。その概略図を Fig. 1 に示す。当該EMATは細長い平面上の渦巻コイルと磁極を反転させて交互に設置した永久磁石列によって構成される。炭素鋼

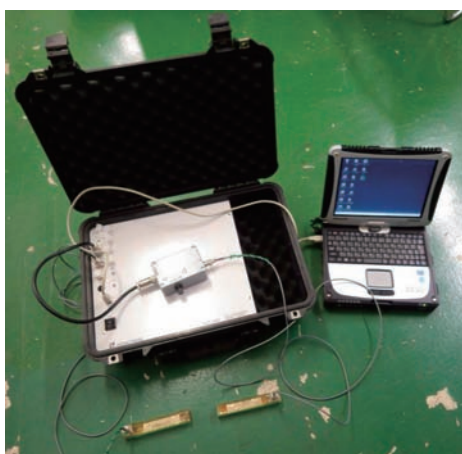
のような強磁性体の場合、EMATによる超音波の送受信は主に磁歪によるとされる。送信の際は、コイルに高周波電流を流して発生させた誘導磁場と永久磁石列によって作り出された静磁場との相互作用で生じた磁歪により、SH波が励起される。受信の際は、この逆過程で超音波から電気信号に変換される。SH波は被検体の面内方向に振動する超音波であるため、内部流体の影響を受けにくく、伝播特性に優れる。



**Fig. 1** Schematic of EMAT for generating SH waves

一般的な超音波探触子とは異なり、EMATは塗膜や錆の上からでも被検体中に超音波を直接励起させることができるため、塗膜や錆の除去、研磨を簡略化することができ、工数・費用の削減が見込める。加えて、接触媒質が不要であり、安定して超音波を励起できるため、専門知識や特殊技能を持たない検査員でも簡便に検査を実施することができる。

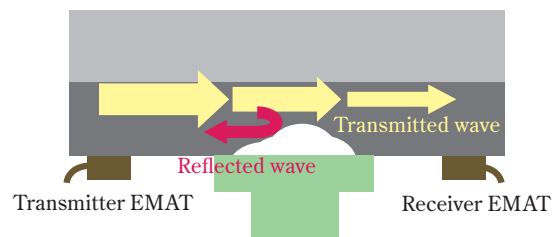
次に、開発技術の測定原理について説明する。配管の軸方向に1対のEMATを設置し、送信用のEMATから受信用のEMATに向かって超音波を伝播させる。



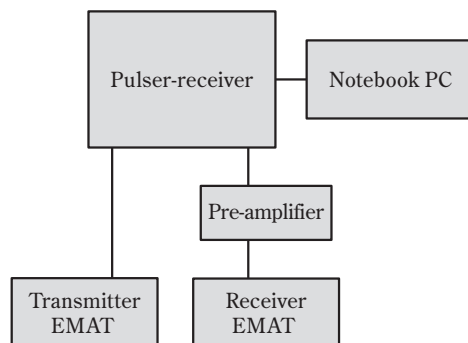
**Fig. 3** Typical setup for inspection

EMAT間に減肉部が存在すれば配管中を伝播する超音波の一部が減肉部で反射されるため、受信用のEMATで受信される超音波のエネルギーは減少する (Fig. 2)。したがって、検査対象箇所と腐食減肉のない箇所とで超音波の送受信を行い、受信される超音波のエネルギーを比較することにより、検査対象箇所の断面欠損率を評価することができる。なお、評価の際には、実験検討の結果から作成した評価曲線を用いる。

最後に、開発技術で用いる検査機器の構成を Fig. 3 に示す。EMATは一般的な超音波探触子と比べて電気-音響変換効率が極めて低いため、高電圧のパルサーやプリアンプと組み合わせることで検査に必要な測定信号強度を確保している。また、化学プラント内は多数の配管が入り組んでおり、仮設足場上の狭隘部に検査機器を持ち込んで作業するような場合が多いため、現場での作業性を考慮し、軽量・小型で可搬性に優れ、バッテリー駆動が可能な機器を使用している。



**Fig. 2** Ultrasonic wave propagation between EMATs



### 社内プラントにおける実機適用

#### 1. 実機適用事例

開発技術を用いて自社プラントの保全活動に貢献するため、また、開発技術の精度検証および技術向上のため、社内プラントに敷設された配管に対して開発技術による検査を順次実施している。開発技術は目視検査よりも定量的かつ信頼性の高い評価を行うことができる。したがって、目視検査で錆や塗膜の剥がれが顕著であった箇所を中心として検査を実施することで、その箇所の更新や補修の要否を定量的に判断することができる。また、実機適用で得られた知見を基に、検査機器の改良や検査手法の改善を行ってきた。

これまでに検査実績のある配管は小径のもので40A (外径約48.6mm)、大径のもので500A (外径約508.0mm)と多岐に亘り、Uボルト/Uバンド固定部など様々な設置状態のものを含む。

開発技術の検査精度を検証するため、検査を実施した配管の中で持ち上げての詳細検査や更新を行った配管に関しては、架台接触部の減肉深さをデプスゲージ等で測定し、開発技術による評価結果との比較を行った。比較結果を Fig. 4 にまとめる。

Fig. 4 より、開発技術による減肉深さ評価値は、ほとんどの箇所においてデプスゲージ等による測定値と比べて±1mm程度の差に収まっており、開発技術の検査精度は±1mm程度であることが確認された。これは現在普及している他の架台接触部検査技術の公表されている測定精度と同等であり、配管の継続使用を評価するための二次検査手法としては十分であると考えられる。ただし、破線で囲んだ1点が過小

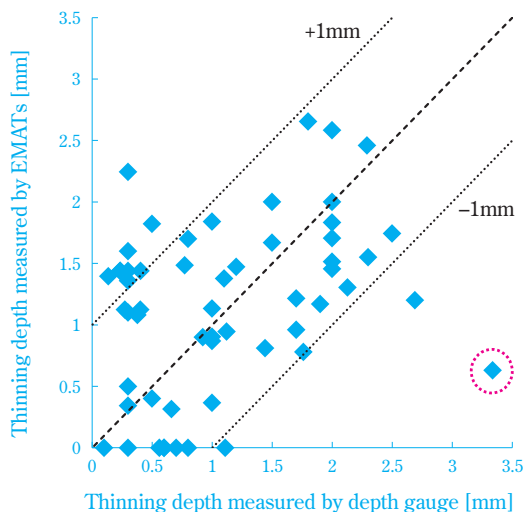
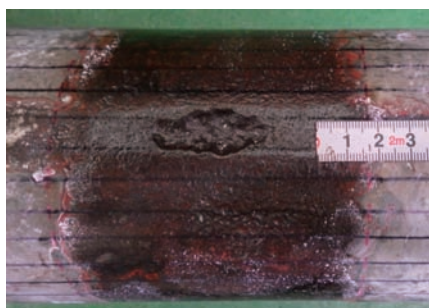


Fig. 4 Comparison of thinning depths measured by depth gauge and EMATs

評価側 (右下) に大きく外れていた。この腐食減肉箇所に関しては周方向の幅の狭い局所的な腐食の様相を呈しており、減肉深さが大きいにも関わらず断面欠損率が非常に小さかった。これは特異的な事例であり、一般的には炭素鋼製裸配管の架台接触部の外面腐食は架台接触部の広い範囲で進行する (Fig. 5)。開発技術では一般的な外面腐食を対象としており、断面欠損率の分だけ一様に減肉していると仮定して減肉深さを評価する。このため、周方向の幅の狭い局所的な腐食に対しては過小評価となった。周方向の幅の狭い局所的な腐食は稀な事例であり、このような腐食に対する対策は今後の検討事項とする。



Schematics of cross section



Schematics of cross section



Fig. 5 Strange local wall thinning (left) and typical wall thinning (right) of pipe on pipe support

次に、これまでの実機適用実績から開発技術の検査時間を見積もると、移動や検査機器の設置、検査位置の罫書きにかかる時間を含めて1箇所あたり30分程度であった。検査前処理としてのケレン作業を省けることを考慮すると、検査時間を現在普及している検査技術の1/5程度に短縮できることが見込める。また、測定自体は数分あれば完了するため、検査を実施する架台接触部間での移動距離が短い場合や罫書き作業を並行して行うことができる場合は、検査時間をさらに短縮することが可能である。

## 2. 今後の展開

実機適用の実績が増えるに伴い、現状の開発技術で対応可能な場合とそうでない場合が明らかになってきたが、技術開発を進めることにより、開発技術の適用可能範囲をさらに広げたいと考えている。周方向の幅の狭い局部的な腐食の検出に関する技術開発については、例えば超音波を周方向に伝播する方式の検討を行っている。この方式は、従来法ではEMATを設置できなかったようなエルボやフランジの近傍にある検査対象箇所に対しても有効である。また、超音波をより長距離に伝播させるような技術改良と検査手法の見直しを行い、カルバート部のようなアクセス困難な箇所の配管などに対しても技術を応用していきたいと考えている。

また、実機適用から得られる知見は多いため、現在は開発者が主体となって開発技術の実機適用を行っているが、今後は検査業務の移管を視野に入れている。専門知識や特殊技能を持たない検査員でも簡便に検査を実施することができることが開発技術の強みの一つでもあるため、検査業務移管時にはこの強みを最大限に生かせるようにしたいと考えている。そのため、検査機器類、検査手順をシンプルにすると共に、検査要領書を整備した。

## おわりに

配管架台接触部の外面腐食検査にEMATを活用することにより、検査部位の前処理簡略化によって検査時間を削減すると共に、専門知識や特殊技能を持たない検査員でも簡便に検査を実施できるように検査機器類や検査要領書を整備した。

今後は社内での本格運用・適用拡大を視野に入れ、運用実績のさらなる蓄積と技術検証を行うと共に、検査体制を確立し、配管の架台接触部の信頼性向上、プラントの安全・安定操業の継続に寄与していきたい。

## 引用文献

- 1) 日本工業検査(株), JP 3841794 B2 (2006).
- 2) 新日本非破壊検査(株), JP 2010-190794 A.
- 3) 出光エンジニアリング(株), 非破壊検査(株), JP 4500413 B2 (2010).
- 4) 非破壊検査(株), JP 2012-141213 A.
- 5) M. Hirao and H. Ogi, "EMATs for Science and Industry", Kluwer Academic Publishers (2003), p. 283.
- 6) C. F. Vasile and R. B. Thompson, *J. Appl. Phys.*, **50** (4), 2583 (1979).
- 7) B. W. Maxfield and C. M. Fortunko, *Mat. Eval.*, **41** (12), 1757 (1990).