エロージョンによる減肉に対するオンラインモニタリングの検討

Evaluation of online thickness monitoring system for wall thinning by erosion.

東京電力ホールディングス株式会社	吉田	正志	Masashi YOSHIDA	Member
東京電力ホールディングス株式会社	熊谷	克彦	Katsuhiko KUMAGAI	

Pipe wall thickness measurements by ultrasonic (UT) sensors can be difficult as the roughness of the inner surface develops by certain corrosion mechanisms. In this study, the applicability of flexible UT sensors with single and dual element transducer were evaluated using carbon steel plates with localized sand erosion that simulates pipe walls with rough inner surface. While the thickness measurement by single transducer sensors with B-B method failed after certain amount of erosion, the newly developed sensor, "Flex-Dry UTM" with dual probes, proved to be feasible. Applying R-B method to Thin Film UT Sensor with single element transducer was also effective. In addition, wireless data transfer system using LPWA was also developed. Wall thickness data from the UT sensors were successfully transmitted between PCs located in different concrete buildings separated by 120 meters.

Keywords: Nondestructive evaluation, Ultrasonic Testing, Pipe wall thinning, Online monitoring, Inspection, Sensor technology, LPWA

1. 緒言

発電所の配管は経年的に減肉が進行するため、超音波 厚さ計により定期的な肉厚管理を行い、健全性を確保し ている。アクセスが難しい配管や温度が高い配管は、運 転中の肉厚測定は難しい。そのため、定期検査中の限ら れた時間に、足場や保温材の脱着などが必要となり、作 業工数の増加要因となっている。そこで、あらかじめ肉 厚センサを配管に張り付けておき、運転中に連続的ある いは、定期的に肉厚を確認するオンラインモニタリング が注目されている[1]。オンラインモニタイングに有望な 超音波肉厚センサとして、薄膜 UT の研究が進められて いるが[2]、肉厚測定は、校正用の試験片や、均一に削り 出した試験片など、配管内表面の反射面が比較的平滑な 状態での確認にとどまっている。減肉した実機配管で薄 膜 UT を検証した結果、減肉が進行している配管では、 第二回目の底面エコーが著しく小さくなっている場合が あることが確認された。

本研究では、エロージョンにより内表面の凹凸を模擬 した減肉を連続的に作成し、1探触子および2探触子の薄 型超音波肉厚センサの、減肉配管への適用性向上のため の検討を行った。また、測定した肉厚データを、無線で 遠隔伝送するシステムを開発した。

2. 減肉配管への適用上の課題

図1に内表面の減肉と超音波の散乱イメージを示す。 発信された超音波は、底面に著しい傾斜や凹凸があると、 発信位置とは異なる方向に反射され、第一回目の反射が センサに確認されても、第二回目になると多くが散乱し てしまうと考えられる。

実機の多くの配管は、全面腐食や、流動加速腐食によ る鱗片状模様、または液滴衝撃エロージョンなど凹凸が 生じ、特定の腐食形態では通常の多重エコーを用いた肉 厚測定ができない場合があることが確認されたことから、 オンラインモニタリングの試験においても、配管内表面 の凹凸を考慮する必要がある。



図1 内面の凹凸と超音波散乱イメージ

3.実験方法、肉厚センサおよび減肉試験装置

減肉試験には、薄膜 UT および帝通電子研究所と共同 開発したフレックスドライ UTM (以下 FDUTM)の1探 触子タイプ(FDUTM 1探)および2探触子タイプ(FDUTM 2探)を使用した(図2)。いずれのセンサも、柔軟性を 有し、曲率のある配管・エルボ部にも取り付けやすい。 また薄型であり、200℃以上の耐熱性を持つことから、保 温材との干渉なく高温配管への設置が可能である。 FDUTM は特殊なシートをセンサ測定面に使用している

連絡先: 吉田 正志、〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見 区江ヶ崎町 4-1、東京電力ホールディングス株式会社、 E-mail: yoshida.ma@tepco.co.jp

ため、接触媒質がなくても、肉厚測定が可能である。図3 に5mmの板材を室温で測定したそれぞれの超音波波形 を示す。FDUTMは接触媒質がない状態でも波形が明確 にとれており、肉厚測定の効率化や、長期連続測定への 適用が期待される。薄膜UTは初期エコーが800nsecと短 時間で収束しており、S/N 比も優れている。

減肉試験での肉厚測定方式を表1に示す。多重エコー 方式(B-B)は第一回目および第二回目の底面エコーの時 間差から肉厚を測定する。表面エコー・第一回底面エコ ー(S-B)および零点・第一回底面エコー(R-B)の両方 式は、基本的に第一回目の底面エコーを使用し、第二回 目は使用しない。それぞれの測定方式の概要はJIS[3]に記 載されている。

配管減肉現象模擬試験装置を図4に示す。サンドブラ ストを改良し、連続運転ができるようにした装置であり、 鉄粉を圧縮空気と混合し、試験片に衝突させることによ って金属配管、板などに減肉を生じさせることができる。 この試験装置を用い、肉厚センサを張り付けた炭素鋼の 平板(30mm x 30mm x 5mm)を室温で減肉させ、肉厚変 化を連続的に測定した。試験後の試験片はマイクロスコ ープを用いて 3D スキャンし、肉厚値の分布を測定した。



図2 センサ写真 (左から、薄膜UT、FDUTM1探、FDUTM2探)



図3 FDUTM1探と薄膜UTの超音波波形
左: FDUTM1探、接触媒質なし、感度10dB
右:薄膜UT、接触媒質あり、感度1dB
表1 各センサの肉厚測定方式

使用センサ 肉厚測定方式		肉厚値 計測	ゲート位置	
FDUTM 1探	多重エコー (B-B)	自動	ピーク頂点	
FDUTM 2探	表面エコー・第 1 回底面エコー (S-B)	自動	ピーク立ち上がり	
薄膜UT 1探	多重エコー (B-B)	自動	ピーク頂点	
	零点・第 1 回底面エコー (R−B)	手動	ピーク立ち上がり	



図4 配管減肉現象模擬試験装置外観

3. 減肉試験結果および評価

3.11探触子と2探触子の比較

試験片へのセンサの取り付け状況および減肉試験状況 を図5に示す。平板にFDUTM1探およびFDUTM2探を 並べて張り付け、反対面から減肉させた。FDUTMの減 肉試験における、肉厚値の変化を図6に示す。試験の進 行に伴って、FDUTM1探およびFDUTM2探ともに肉厚 測定値は減少している。試験経過131分の時点で肉厚値 4.58mmを示した後、自動測定をしていたFDUTM1探の 測定値が急増したため、試験を停止した。



図5 FDUTMの減肉試験状況



停止後の試験片についてマイクロスコープを用いて 3Dスキャンし、肉厚値の分布を測定し精度の検証を行った。(図7)。試験片反対面のFDUTMの位置を図中に黒線で示す。

試験停止時の FDUTM 1 探の超音波波形を図 8 に示す。 底面エコーが、底面以外の反射エコーにまぎれ、判別が できなくなったことから、B-B 方式では、誤検出により、 測定値が急増したと考えられる。

一方、図9のFDUTM2探の超音波波形では、2探触子の特性として、初期エコーがないため、第一回目の底面 エコーが明確であり、表面エコーとの伝達時間の差によ り、肉厚値が測定できている。さらに減肉が進んでも測 定可能であると考えられ、減肉配管に対する2探触子の 有効性が確認された。



図7 FDUTM による試験停止時の肉厚値分布



図8 FDUTM1探による試験停止時の超音波波形



図9 FDUTM2探による試験停止時の超音波波形

3.21探触子による B-B と R-B の比較

FDUTMの減肉試験と同様に、炭素鋼平板に薄膜UTを 張り付け、減肉試験を行った。薄膜UTでは、1枚のセン サにて、自動測定でのB-Bと、波形からの目視による読 み取りでのR-Bで肉厚測定を実施した。B-Bでは、試験 時間80分、肉厚値4.63mmにて、第二回目の底面エコー が小さくなり、図10に示すとおり、肉厚値の自動検出が できなくなった。それ以降は、波形から目視で読み取り、 測定値を記録したが、試験時間100分には図11で示すよ うに、目視での読み取りもできなくなり、試験を停止し た。一方、R-Bによる肉厚測定は試験停止時にも継続で きており、1000nsecまでは肉厚測定が可能と考えられた。

停止時の肉厚分布を図 12 に示す。センサ位置を黒線で 示す。センサ下の最大減肉量は 0.74mm である。図 10 で の試験停止時の測定値が B-B で 4.50mm (減肉量 0.50mm)、 R-B で 4.25mm (減肉量 0.75mm) であり、R-B の測定値 とよく一致した。

以上から、薄膜UTを減肉配管に適用する場合、R-B 方式の適用が有効であると考えられる。





図 11 薄膜 UT による試験停止時の超音波波形



図12 薄膜UTによる試験停止時の肉厚値分布

4. 減肉データの無線伝送

減肉データを離れた事務所で確認をするためにはデー タの伝送が必要である。近年 LPWA (Low Power Wide Area)とよばれる、ボタン電池等の省電力でかつ長距離に 無線で伝送する技術が注目されており[4]、減肉データの パソコン間の直接の無線伝送を試みた。使用した無線デ バイスは、大井電気製の Oi-NET923 (図 13)、規格として はLoRaを用いた。Oi-NET923は0.2~100kbpsで通信速 度を調整することで、長距離の伝送を可能としている。 LoRaは920MHz帯の電波を使用しており、建物などの裏 へ回り込みやすいとされている[4]。無線の送信は、図14、 15 に示す3 階建ての建物内から行い、約60m離れた11 階建て建物内で問題なくデータが受信できることを確認 した。また、送信位置から 120m 離れた 11 階建の建物の 背後においても、データの受信を確認した。使用環境に より、無線伝送状況は異なることが想定されるため、実 機発電所等においてデータ送信の最適化を図る。なお、 発電所への実適用にあたっては、通信のセキュリティ、 他機器への誤動作などについても検討が必要である。





図13 通信モジュール

図14 通信距離と建物配置



図15 通信状況における建物写真

5. まとめ

エロージョンにより減肉配管内表面の凹凸を模擬した 試験片に対する薄膜 UT および FDUTM の適用性を確認 した。

・内表面の減肉が進行すると、1 探触子の B-B 方式では、肉厚測定ができなくなった。

・2 探触子、もしくは1 探触子の R-B 方式を用いるこ とで減肉配管の肉厚測定に上記センサを適用可能である ことを確認した。

参考文献

- [1] 浦山良一、内一哲哉、高木敏行、兼本茂、"電磁超音 波共鳴法による配管減肉のオンラインモニタリン グ"、保全学、11(4),83-89,2013-01.
- [2] 藤田直樹ほか、"高温用薄膜 UT センサを用いた高精 度な厚さ測定・減肉傾向監視技術の開発"、日本保全 学会 第10 回学術講演会要旨集、2013
- [3] "非破壊試験-超音波厚さ測定-第一部:測定方法" JISZ2355-1, pp.3, 2016
- [4] SmartGrid ニューズレター編集部、"IoT 時代の次世代 無線通信規格 LPWA の全貌"、2017