

AE 法による地下埋設配管の腐食損傷診断

湯山茂徳¹、西田玉城²

Acoustic Emission Evaluation of Corrosion Damages in Underground Pipes of Refinery

Shigenori Yuyama¹, Tamaki Nishida²

製油所の地下埋設、防油堤貫通配管において腐食損傷が大きな問題となっている。こうした損傷を評価する検査法のひとつとして、AE 法の適用が期待されている。そこで平成 13 年度 PEC 委託調査として、AE 法の腐食損傷診断への適用性を検討した。本報告では、腐食に起因する AE 信号に関する基礎試験、実配管における AE 波伝播に関する基礎調査、そして実配管で得られた AE 計測結果と、UT 法による肉厚測定、および目視検査結果を比較・検証した結果をまとめてある。

キーワード：アコースティック エミッション、製油所、埋設配管、腐食損傷、非破壊検査

1. はじめに

石油の精製、移送、および貯蔵設備の中で、配管は大きな部分を占めている。したがって、その状態を把握し、適切な保全管理によって内容物の漏洩を防止することは、安全・防災のみならず、大気汚染防止や水質汚濁防止という環境保全の観点からも重要である。

製油所の防油堤貫通配管などの地下埋設配管は、埋設部分に直折接触することが不可能なため、超音波探傷(UT)、放射線探傷(RT)、あるいは目視検査(VT)など通常の非破壊検査方法を適用し、腐食損傷状態の診断など構造物の健全性評価を供用中に実施することは困難である。

割れの発生・進展や腐食損傷、あるいは気体・液体の漏洩に起因する波動を検出する AE 法は、複数個のセンサーを適切に配置することにより構造物のグローバル診断が可能であり、また位置標定機能を用いることにより AE 信号が発生した場所をある程度特定化できるという特徴を利用して、地上タンクの底板腐食損傷診断方法[1]として、また地下タンクの早期漏洩検知方法[2]として適用が期待されている。とりわけ、地上タンクに関しては、欧州において底板の腐食損傷状態の診断を供用中に行うための検査方法として標準化され、これをもとに世界各地で年間 1000 件以上の試験が実施されている。

本稿では、平成 13 年度石油産業活性化センター(PEC)の委託調査「配管からの汚染物質低減技術に関する調査」において、腐食に起因する AE の発生特性や配管における AE 波の伝播特性を調べ、さらに実配管で得た AE 試験結果と UT、VT などの試験結果を比較することにより、埋設配管における AE 法の腐食損傷診断への適用性を検討した結果を報告する。

¹ 日本フィジカルアコースティクス株式会社、〒150-0011 東京都渋谷区東 2 - 17 - 10、岡本 LK ビル 8F、Nippon Physical Acoustics Ltd. 8F Okamoto LK Bldg., 2-17-10, Higashi, Shibuya-ku, Tokyo 150-0011

² 株式会社ジャパンエナジー、〒712-8588 岡山県倉敷市潮通 2-1、Japan Energy Corporation, 2-1, Ushio-dori, Kurashiki City, Okayama Prefecture, 712-8588

2. 試験手順と結果

2.1. 腐食に起因する AE の評価

腐食試験のため、供用中のタンク屋根部から写真 1 にあるように、4 個の短冊型試験片を切り出した。このうち 1 個の試験片(No.1)は、金属光沢が得られるように表面上の腐食生成物を全て除去した。一方、残り 3 個の試験片(No. 2 ~ 4)は、切り出したままの状態を保ち、表面上には厚い腐食生成皮膜が形成されている。

腐食に起因する AE 信号の特徴を調べるため、これらの試験片を 3(重量)%食塩水(水道水と市販の食塩で製造)中に浸漬した。また、AE 信号の検出には、3 種の異なる周波数特性を持つ AE センサー (R3I : 30kHz 共振型、R6I : 60kHz 共振型、R15I : 150kHz 共振型) を用意した。

試験 1 において、4 個の試験片にそれぞれ 1 個の R15I センサーを取り付け、55 日間に渡り AE 発生を連続監視した。図 1 に、この試験で得られた AE 振幅値の履歴と振幅分布が示されている。厚い酸化皮膜の形成された試験片(No. 2 ~ 4)では、80 ~ 90dB を超える振幅値を持つ大きなエネルギーをもつ AE 信号が検出されているが、酸化皮膜を除去した試験片(No.1)では、検出された信号の大部分が 60dB 以下の振幅値を有することがわかる。

試験 2 では、試験片 No.1 に R3I(周波数帯域:20 ~ 60kHz)、R6I(周波数帯域:30 ~ 100kHz) および R15I(周波数帯域:100 ~ 300kHz)センサーを取り付け、13 日間に渡り腐食進行下で発

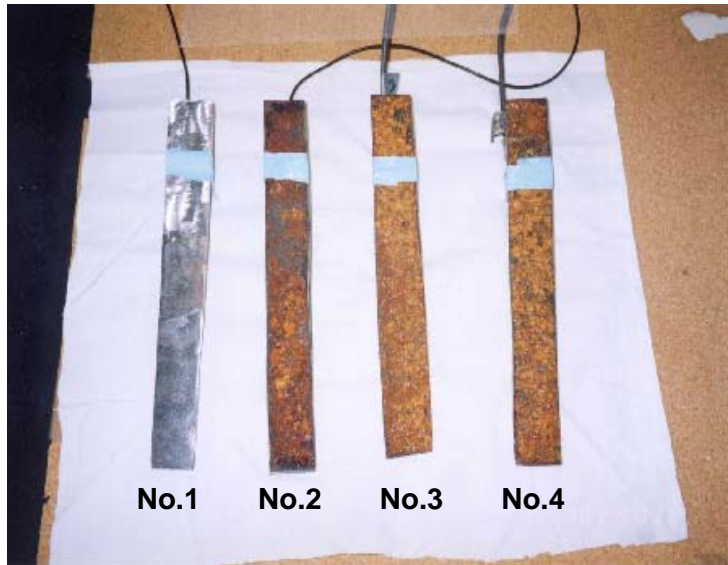


写真 1. 腐食試験に供した試験片 (No.1: 腐食生成物除去、No.2 ~ 4: 腐食生成物有り)

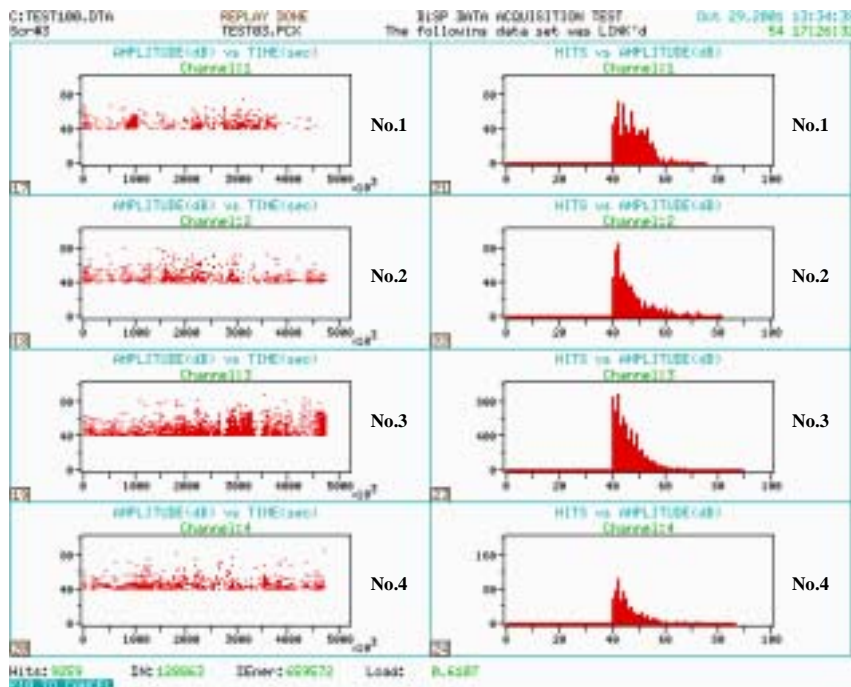


図 1. 試験 1 の結果 (振幅値の履歴と振幅分布)

生ずる AE 信号を計測した。図 2 に、試験結果が与えられている。R15I センサーで検出された AE 信号の振幅値は 60dB 以下であるにも関わらず、R3I および R6I センサーでは、70～75dB に至る振幅値を持つ信号が検出されている。R15I で検出されたヒット(信号)数は 40 であるが、R3I および R6I ではおよそ 160 のヒット数が検出されている。したがって、腐食に起因する AE 信号は、明らかに 20～100kHz の比較的低い周波数帯域に主な周波数成分を持つことが、定性的に示されたと考えられる。

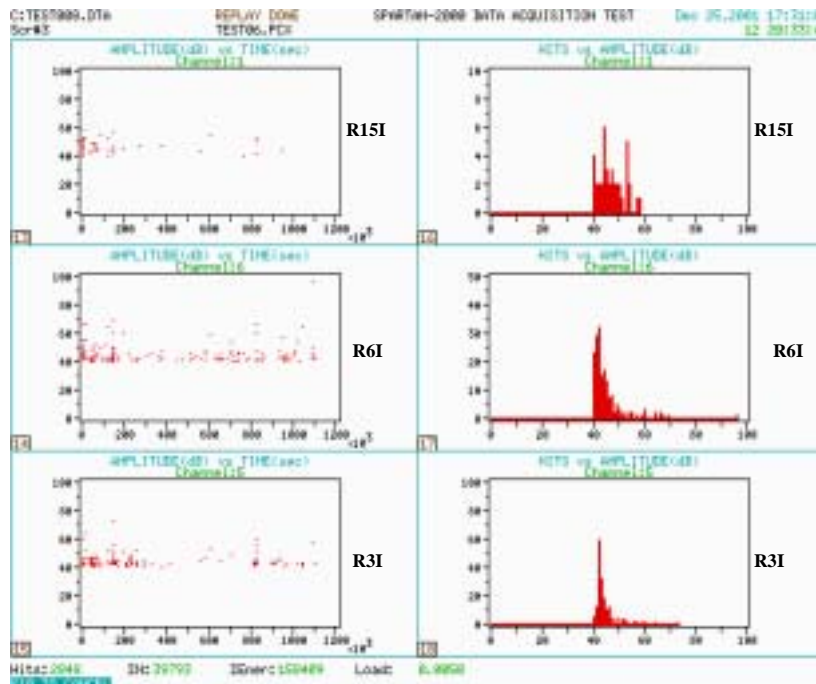


図 2. 試験 2 の結果 (上 : R15I センサー、中 : R6I センサー、下 : R3I センサー)

2.2. 配管における AE 波減衰特性の調査

AE 波伝播試験を、異なる条件下にある配管で実施した。標準音源となるシャープペンシル芯の圧折で起振した AE 波を採集するため、異なる周波数特性を持つ 4 個の AE センサー (R1.5I : 15kHz 共振型、R3I、R6I、R15I) を配管上に設置した。空、および満液状態の地上配管、そして土嚢で囲むことにより、埋設状態を模擬した状態にある配管で波形を採集した。写真 2 に、模擬埋設配管における試験実施状況が示されている。

図 3 に、空状態の地上配管に対する減衰曲線が与えられている。配管壁内の AE 波伝播は、複雑な経路を取るため、単純な板波の伝播として取り扱うこと



写真 2. 模擬埋設配管上に取り付けた AE センサー

はできないが、経路の影響が少ない初動波部分に注目し、 A_0 波に相当するとみなされる AE 波形データから得た結果をまとめてある。R15I センサーにおける高周波数帯域 (100 ~ 300kHz) では、17m の伝播に対して約 30dB 減衰しているが、低い周波数帯域 (R1.5I : 10 ~ 30kHz、R3I : 20 ~ 60kHz、R6I : 30 ~ 100kHz) における減衰は、10 ~ 15dB 程度である。

図 4 に、満液状態の地上配管における減衰曲線が示されている。減衰は空状態の場合に比べやや大きく、8m 伝播した際におよそ 10dB 減衰している。

耐食用保護皮膜を持たず、空状態にある埋設配管における減衰曲線が、図 5 に示されている。また、図 6 に保護皮膜で被覆された、空状態の埋設配管で得られた曲線が与えられている。減衰はこの場合が最も大きく、4m の伝播に対しておよそ 30dB 減衰している。前節で、腐食生成物で覆われた試験片が、腐食過程で 80 ~ 90dB に至る振幅値を持つ AE 信号を発生し得ることが示されている。したがって、AE 波伝播による減衰を考慮したとしても、発生源から 4m 程度離れた位置で腐食に起因する AE 信号を、しきい値を超えて十分検出可能と考えられる。それゆえ、しきい値を 40dB 程度に設定するなら、保護皮膜で被覆された埋設配管において、センサー間距離を 4m 程度に設定したとしても直線状位置標定が可能と推察される。

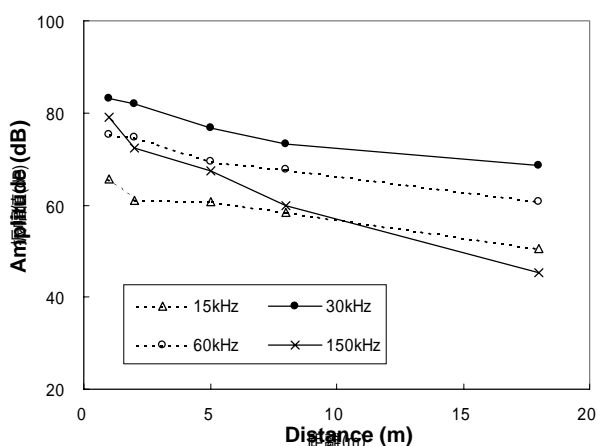


図 3. 空状態の地上配管における減衰曲線

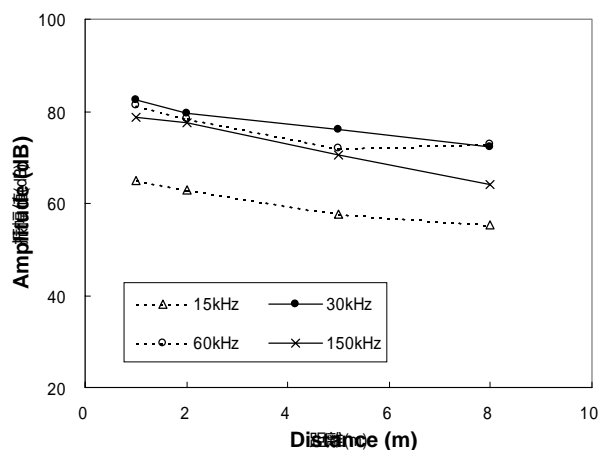


図 4. 満液状態の地上配管における減衰曲線

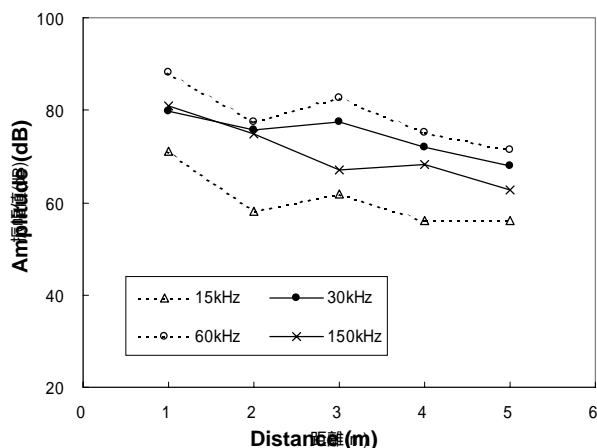


図 5. 空状態の埋設配管(耐食用保護皮膜無し)における減衰曲線

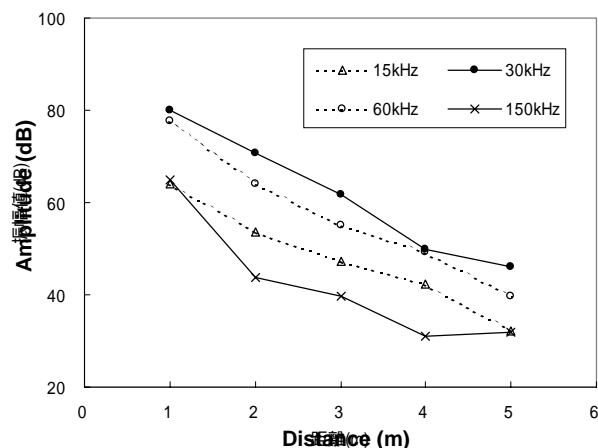


図 6. 空状態の埋設配管(耐食用保護皮膜で被覆)における減衰曲線

2.3. 製油所の異なる13種の配管におけるAE計測結果

製油所において、写真3に示される13本の配管に対して、AE計測を行った。表1に、その配管番号、大きさ(直径)、流体、流量、そして流速がまとめられている。13本のうち10本(番号02~11)は、中仕切り部で長さ約3m分について埋設されている。また、3本(番号12~14)は地上に設置されており、蒸気加温され断熱材で全体が被覆されている。



写真3. AE計測を実施した製油所の配管

AE計測に際し、R3I、およびR6Iセンサーを2個ずつマグネットホルダーで配管上に取り付け、標準計測として30分間データを採集した。2個のセンサーは、埋設部分を挟むようにそれぞれ4m離れた位置に設置し、直線位置標定を実施した。

図7は、配管02においてR3Iセンサーで計測された結果である。各チャンネルに対する検出ヒット総数、両チャンネルに対するヒット計数率、ヒット数、および振幅値の履歴、位置標

番号	直径 (インチ)	流体	流量(Kl / h)	流速(cm / s)
02	6 ^B	脱硫ナフサ	204	310.1
03	6 ^B	脱硫軽質ガソリン	48	73.1
04	6 ^B	改質ガソリン	20	30.5
05	6 ^B	脱硫灯油	71	108.1
06	6 ^B	脱硫軽油	112	170.6
07	8 ^B	直留重質ガソリン	204	174.7
08	2 ^B	不明	-	-
09	4 ^B	流動接触分解重質サイクルオイル	51	174.7
10	6 ^B	間脱軽質軽油	28	42.6
11	6 ^B	ジェット燃料	0	0
12	18 ^B	副生重油	0	0
13	18 ^B	中質副生重油	0	0
14	24 ^B	中硫黄重油	0	0

表1. AE計測を実施した配管

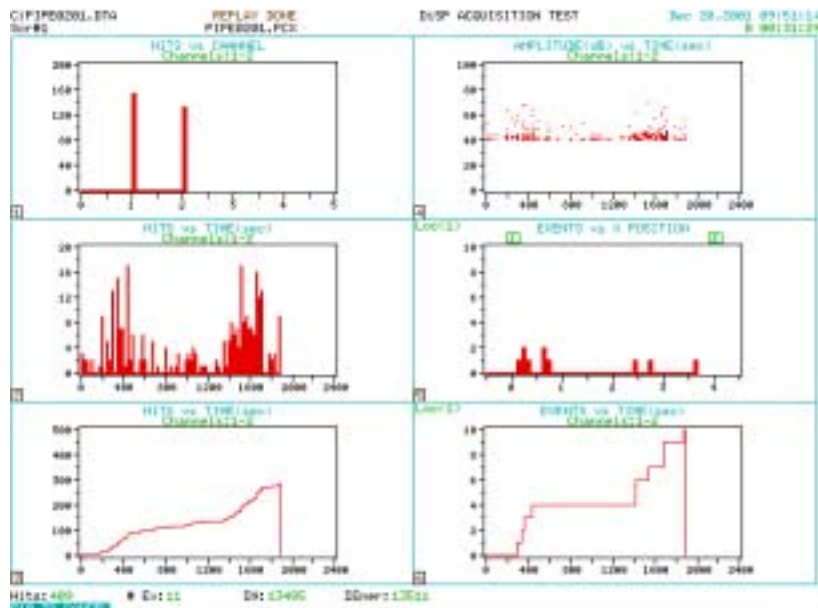


図 7. 配管 02 において、R3I センサーによる計測結果

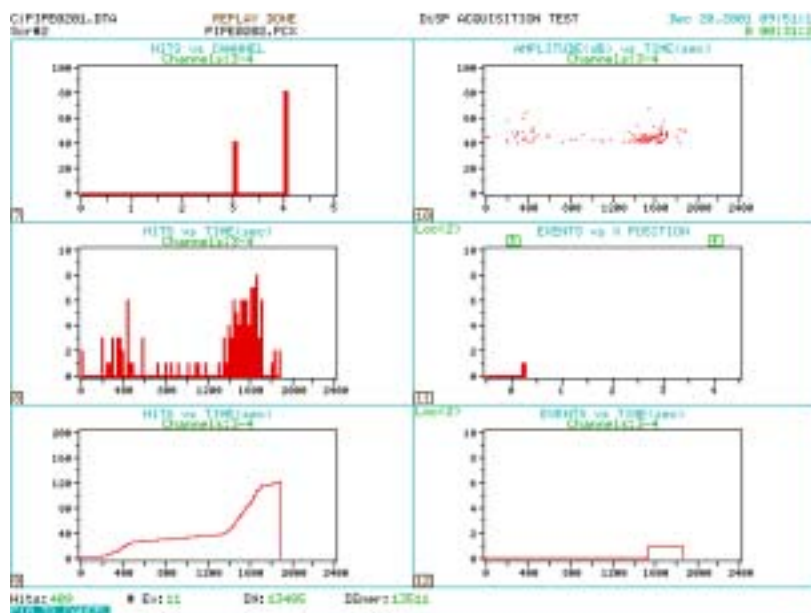


図 8. 配管 02 において、R6I センサーによる計測結果

定結果、そしてイベント数の履歴がまとめられている。両チャンネルで合計 280 のヒット数が検出され、最大振幅値は 70dB を超えている。また、合計 10 個のイベントが得られ、AE 信号発生集中箇所(クラスター)が、埋設部の北側位置に観察される。

R6I センサーで計測された結果が、図 8 に示されている。合計 120 のヒットが検出されたが、位置標定可能なイベントは 1 個のみであった。したがって、共振周波数が 30kHz (R3I) の場合に比べ、60kHz(R6I)で検出された AE 信号数ははるかに少ない。

全配管に対する試験結果が、表 2 にまとめられている。検出されたヒット数、イベント数、計測時の備考が、配管番号、およびセンサー種類と共に与えられている。ここで、配管番号 12

～14では、蒸気加温に起因する蒸気の漏洩により、環境雑音の極めて大きな条件下でAE計測が実施されたことに留意する必要がある。

2.4. AE計測結果とUT厚み測定、およびVT検査結果との比較

AE計測結果の有効性を検証するため、UT厚み測定とVT検査が各配管に対して実施された。その結果が表2にまとめられている。配管02では、AE計測結果と、UT/VTの結果は非常に良く一致している。すなわち、UT、およびVTにより、配管埋設部の北側部分に顕著な腐食減肉が認められ、これはAE計測で得られたAE発生源の集中箇所(クラスター)の位置に対応していた。配管06～11では、検出ヒット数が小さく、UTおよびVTでも腐食減肉は発見されなかった。したがって、これらの配管においても、AE計測結果とUTおよびVT試験結果は、良好な相関関係を提示していると見なしてよい。

しかしながら、配管03においては、AEクラスターが埋設部の両端付近に検出されたにも関わらず、顕著な腐食は観察されなかった。したがって、この場合AEとUT、およびVTの間

配管番号	AE計測結果 (ヒット数/ イベント数)	厚み測定結果	目視検査結果	備考
02	280 / 10 (R3) 120 / 1 (R6)	N側に厚みの 最小値 ()	N側防食テー プ境界部に顕 著な腐食 ()	N(左)側にAEイベントの 発生集中部あり
03	300 / 13 (R3) 100 / 0 (R6)	顕著な減肉 無し(x)	顕著な腐食 無し(x)	R3センサーの計測結果は 左右両端付近にイベントを 検出(厚み測定およびVT結 果と不一致)
04	650 / 18 (R3)	減肉無し(x)	腐食見られず (x)	センサーでイベントを検出 (連続雑音の影響)
05	480 / 45 (R3)	減肉無し(x)	腐食無し(x)	連続雑音の影響?
06	70 / 0 (R3)	減肉無し()	腐食無し()	信号検出数は少ない
07	90 / 2 (R3)	減肉無し()	腐食無し()	信号検出数は少ない
08	16 / 0 (R3)	減肉無し()	腐食無し()	信号検出数は少ない
09	120 / 0 (R3)	減肉無し()	腐食無し()	信号検出数は少ない
10	70 / 0 (R3)	減肉無し()	腐食無し()	信号検出数は少ない
11	36 / 5 (R3)	減肉無し()	腐食無し()	信号検出数は少ないが、数 個のイベントを検出
12	700 / 220 (R3)	減肉無し(x)	腐食無し(x)	スチームに起因する雑音の 影響
13	190 / 42 (R3)	減肉無し()	腐食あり(詳細 BC40- 参 照)()	AEイベントの集中位置に ほぼ対応(スチーム)
14	2500 / 600 (R3) 190 / 50 (R6)	減肉無し(x)	腐食無し(x)	スチームに起因する雑音の 影響

AE計測結果との対応

: 良好 : とちらともいえない x : 不良

表2 . AE計測結果と厚み測定および目視検査(VT)との比較

に相関は見られない。また、配管 04 と 05 において、原因不明の連続雑音が検出されたため、有意な AE 信号を検出することは非常に困難であった。これらの配管では、多くの AE ヒットが検出されたにも関わらず、顕著な腐食は認められなかった。さらに、配管 12~14 では、蒸気漏洩に起因する連続環境雑音の影響で、有意な AE 信号を検出することは不可能であった。

したがって、8 本の配管に対して、良好な環境下で AE 計測を実施することができた。この中で、7 本の配管において AE 計測結果と UT、および VT 間に良好な相関関係が認められた。一方、相関の全くない事例(配管 03)が一例見られたが、安全側の評価(腐食が無いにも関わらず AE 信号が多く検出され、何らかの異常を示す兆候が指摘された。)を与えていることから、構造物の健全性を評価する診断法として、受け入れ可能な余地を残す結果であると考えられる。

このように、埋設された配管の腐食損傷診断を供用中に行う検査方法として、AE 法の適用性は高く、今後データベースなどの充実により、信頼性をさらに高めることが可能と考えられる。しかしながら、現場で計測を実施する際には、有意な信号を検出するために環境雑音ができる限り小さく、良好な条件下で AE 計測を実施する必要がある。

3. まとめ

腐食に起因する AE の発生特性や、配管における AE 波の伝播特性を調べ、さらに実配管で得た AE 試験結果と UT、VT などの試験結果を比較・対照するなど、組織的な調査を実施することにより、埋設配管における AE 法の腐食損傷診断への適用性を検討し、以下の結果を得た。

- (1) 室内で実施した実験により、表面に厚い腐食生成皮膜の形成された試験片の、食塩水中における腐食進行過程で、80dB を超える振幅値を持つ AE 信号の発生することが確認された。また、腐食過程で発生する AE 信号の主周波数成分は、20~100kHz の周波数帯域にあることが示された。
- (2) 異なる条件下にある配管における AE 波伝播試験により、耐食用保護皮膜で被覆された埋設配管において、2 個のセンサー(例えば 30kHz 共振型)を 4m のセンサー間距離で配置することにより、直線位置標定が適用可能であることが示された。
- (3) 製油所において、供用中の 13 本の実配管に対して AE 計測を実施し、その後超音波(UT)厚み測定、および目視(VT)検査を実施し、AE 計測結果と比較・対照することにより、両者の間に良好な相関のあることが確認された。したがって、埋設された配管の腐食損傷診断を供用中に行う検査方法として、AE 法の適用性が高いことが示された。

文献

- [1] 湯山茂徳、山田實、関根和喜：タンク底板の腐食損傷診断における国内外の AE 試験適用の現状、圧力技術、第 40 巻、第 4 号、pp.176-184, 2002.
- [2] 総務省消防庁、「地下に埋設される危険物施設の安全・環境対策に係る調査報告」、平成 14 年度報告書