

AE法によるタンク底部の腐食損傷診断における 雑音処理方法

湯山 茂徳* 李 正旺* 山田 實** 関根 和喜***
橘川 重郎**** 丸山 裕章***** 紺野 臣郎*****

Noise Analysis for Acoustic Emission Evaluation of Floor Conditions in Above-ground Tank

Shigenori YUYAMA*, Zhengwang LI*, Minoru YAMADA**, Kazuyoshi SEKINE***,
Shigeo KITSUKAWA****, Hiroaki MARUYAMA***** and Shigeo KONNO*****

キーワード アコースティック・エミッション, 振幅分布, タンク底板検査, 腐食損傷, 雑音

1. 緒言

固体内で生ずる割れ, 変形などの局所的微視変化を探る手段として有力な AE 法は, 工業技術の一つとして 30 年以上の歴史を持ち, 現在多くの分野で実用化されている。欧米では, 多数のプラント所有者からなる AE ユーザーズグループが結成され, 定期的に情報交換のための会議を開催し, 新たな計測法の開発や, 信頼性の高いデータベースの構築に努力を重ねている。

こうして作成されたデータベースの一つとして, 円筒型貯蔵タンク底部の腐食損傷診断を行うために開発された「TANKPAC」がある。このデータベースを基に, 欧州において, 石油・石油化学プラントで, 供用中の実タンクに対する底部損傷診断法として AE 法が用いられ, 維持・管理経費節約の手段として, 極めて有効であることが示されている^{1), 2), 3)}。

この技術に基づく試験手順が, 1999 年に我国に導入された⁴⁾。以来(社)日本高圧力技術協会^{5), 6)}(石油公団(現石油天然ガス・金属鉱物資源機構)委託研究), (財)石油産業活性化センター⁷⁾(新エネルギー・産業技術総合開発機構委託研究), 消防研究所⁸⁾など複数の研究機関・グループによ

り, 基礎および実用研究が行われ, 我国の実情に合った試験手順と評価・判定法を確立する目的で, データベース化が進行している。また, 実験室において, 腐食に起因する AE の発生機構⁹⁾や, モデルタンクを用いた AE 源位置標定¹⁰⁾に関して, 詳細な検討が行われている。

AE 法によるタンク底部の腐食損傷診断は, 腐食に起因する信号を評価対象とし, 雑音を検出しないことが原則である。しかし, 微弱な AE 信号を捉えるために, 計測装置が極めて高い感度に設定され, 環境雑音の影響を除くことは困難である。また, タンクは屋外に置かれ, 作業条件などの原因により, AE 計測の際に風雨や電気雑音をはじめ様々な環境雑音の混入が避けられない。

実構造物の AE 試験において, 異なる AE 発生源を識別し, 有意な信号と雑音を区別する方法として, 地震学の分野で発達した振幅分布解析¹¹⁾が用いられる。本稿では, 最初にその理論を簡単に述べ, 実タンクにおける適用例を示してある。さらに, 石油公団の委託研究による試験結果をもとに, タンク底部の腐食損傷診断に対して AE 試験を実施する際によく現れる雑音発生状況とパターンの実例を列記し, 雑音の識別法および除去対策について検討する。

2. 振幅分布解析の理論

地震学の分野では, ある地点における地震動の最大振幅を A としたとき, 最大振幅が A から A+dA の範囲にある地震の数を n(A) とするならば,

$$n(A) = kA^{-m} \dots\dots\dots (1)$$

という, 石本-飯田の統計式¹²⁾の成立することが知られている。

一方, 一定の地域, 期間に起る地震で, マグニチュードが M までの地震の総数を N とするとき, M と N (その規模以下の地震の累積頻度) の間には,

原稿受付: 平成 16 年 1 月 30 日

* 日本フィジカルアコースティクス(株)(東京都渋谷区東2-17-10 岡本 LK ビル 8F)

Nippon Physical Acoustics Ltd.

** 消防研究所

National Research Institute of Fire and Disaster

*** 横浜国立大学

Yokohama National University

**** 日本高圧力技術協会

High Pressure Institute of Japan

***** 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

***** 石油連盟

Petroleum Association of Japan

$\log N = a - bM$ (2)
 という経験式 (Gutenberg-Richter の公式と呼ばれる¹³⁾)
 が成立し、式 (1) と (2) は、全く等価なものであり、式
 (2) の係数 b は、式 (1) の $(m-1)$ に対応することが
 知られている。

ところで、従来適用されるマグニチュードの定義は、震央
 から 100km の地点に設置された標準地震計が記録した記録
 紙上の地震の最大振幅 A をマイクロン単位で読み取り、常用
 対数をとった、

$$M = \log A + C \text{ (3)}$$

で与えられるので、式 (2) は、地震の発生総数 N と振幅
 値 A を両対数グラフ上に描くと、ほぼ一直線で表されるこ
 とを意味する。ここで、傾きが $-b$ と負であることから、
 大きな振幅の地震発生数は少なく、より小さな振幅の地震
 はより多く発生する。ある地域で解放される地震のエネル
 ギーが有限であると考えらるなら、その傾き b は異なると
 しても、この関係が一般的に成立することが容易に理解さ
 れる。

全く同様の解析が、検出された AE 信号に対しても行われ
 る。すなわち、AE 信号の振幅値に関する頻度分布が、検
 出されたデータの解析・評価法として、広く用いられてい
 る。AE 振幅分布の多くの測定例では、AE 発生源が同一と
 考えられる場合、雑音や計測系の飽和がないかぎり、ある特
 定振幅にピークを生じることはなく、振幅の増加につれて
 計数量が単調に減少するようなスペクトルが計測されるの
 が一般的である¹⁴⁾。また、連続型 AE や流体雑音のように
 ガウス分布状の振幅分布になる場合を除き、突発型の AE 信
 号では、比較的広い範囲の振幅値領域において両対数表示
 で負勾配 m の直線分布を示すことが多い。すなわち、式
 (1) で示されるような線形分割による微分型の分布を $f(x)$
 とすると、線型表示では、

$$f(x) = cx^{-m} \text{ (4)}$$

また、両対数表示では、

$$\log f(x) = -m \log x + \log c \text{ (5)}$$

となる。なお、AE 振幅分布の測定時に、このような対数
 直線分布にならない場合は、計測系のダイナミックレン
 ジ、直線性、雑音除去などに問題があることや、計測性能の
 限界以上に AE 計数率が高い場合がある。

一方、異なる振幅値レベルの分布を持つ、複数の AE 発生
 要因からなる AE 信号の振幅分布においては、その発生要因
 ごとにある特定振幅にピークが分離して観察されること
 や、それぞれの AE 発生源に対応して異なる傾き m の見ら
 れる場合がある¹⁵⁾。こうした特徴をもとに、異なる AE 発
 生要因を識別することが、しばしば行われる。

次に、振幅値分割が線形ではなく対数分割の場合には、

$$y = \ln x \text{ (6)}$$

と置くことにより、 $dy/dx = 1/x$ から、

$$dF(x) = cx^{-m} dx = cx^{-m+1} dy \text{ (7)}$$

となるので、この場合のスペクトル関数 $g(y)$ は、 $dF(y) = g$

$(y)dy$ より、

$$\ln g(y) = (-m+1)y + \ln c \text{ (8)}$$

で与えられる。すなわち、線形分割時の $f(x)$ の場合と同様
 に、 $g(y)$ も両対数表示で負勾配 $(m-1)$ の直線分布とな
 る。

上記のような微分型の AE 振幅分布に対して、ある振幅値
 x 以上の事象数 $F(x)$ についての積分型の AE 振幅分布は、

$$F(x) \equiv \int^{\infty} f(x) dx \text{ (9)}$$

で定義される。したがって、式 (4) で示したような対数直
 線分布の場合には、

$$f(x) \equiv \int^{\infty} cx^{-m} dx = cx^{-m+1}/(m-1) \text{ (10)}$$

(ただし、 $m > 1$) となり、微分型の場合と同様に両対数表
 示で負勾配 $(m-1)$ の直線分布となる。ここで定義から
 明らかのように負勾配 $(m-1)$ は式 (2) における負勾配
 b に対応する。

ところで、AE に限らず種々の応用面で測定したデータ
 を解析しようとする時、両対数グラフ上にデータをプロッ
 トすると、ほとんどの場合に直線状の関数関係が得られる
 ことが、経験的によく知られている。このように、両対数
 グラフ上で負勾配の直線分布となるスペクトル形状が、「フ
 ラクタル」と呼ばれる¹⁶⁾。すでに述べたように、AE 信号
 の振幅分布は一般的に式 (5) で与えられるごとく両対数表
 示で負勾配 m の直線分布を示す。したがって、検出信号の
 大きさ別の度数分布である振幅分布はフラクタル特性を有
 することになる。

AE 振幅分布がフラクタルとしてのべき乗則分布を示すこ
 の利用法として、正規分布型の各種雑音から AE 信号を選
 別できることがある。AE 法は受動的な聴診器診断法である
 ため、原理的に雑音の選別が難しい。それゆえ、スペクト
 ル形状から雑音の選別ができることは、AE 振幅分布の利
 用の大きな優位点となる。さらに、両対数表示をした振幅
 分布スペクトル上で、AE のべき乗則分布は負勾配の直線
 状になるので、雑音成分があっても直線部を探して、その範
 囲内で直線勾配と切片を求めれば、一義的に振幅分布形が
 定まり、AE 活動度の評価ができることになる。

ところで、センサ感度、周波数領域、増幅度等の AE 計測
 条件の相違や、AE 源-センサ間距離による信号減衰は、
 AE 振幅分布では振幅値 x が kx に変化したことに対応する。
 したがって、これらの振幅変化に対して振幅分布スペクト
 ルの勾配 m 値が不変であることは、 m 値が AE 計測条件や
 信号伝播減衰に影響されないということを意味する。それ
 ゆえ、種々の試験条件で求めた AE データを、 m と c (通常
 は AE 計測しきい値に対応する計数値) の二つのみの値で表
 わしておけば、相互に定量的な比較をすることが可能とな
 る。こうした特性を利用し、実構造物の AE 試験で検出さ
 れたデータにおいて、不要な雑音を除去し、有意な信号のみ
 を解析することにより構造物の健全性を評価することが行
 われている¹⁶⁾。

3. 実タンクで観察される振幅分布

AE 信号には、計測装置の熱雑音や環境雑音の影響により、背景雑音が必ず存在する。こうした背景雑音を除去し、本来目的とする有意な信号を計測するために、適切な計測しきい値（通常はS/N（信号/雑音）比は6dB（2倍）程度にとる。）を設定する。欧州で開発された試験手順によれば、AE 計測の標準しきい値は、40dB（センサ出力換算で1 μ V、但しこの試験手順において、センサ出力信号の増幅率は、60dB が適用される。）としている^{1), 2)}。したがって、このしきい値で検出されたAE 信号数が、判定基準値として用いられる。

実際のAE 試験に際し、しきい値を40dB 以下に設定できる場合は、判定を行ううえで問題を生じない。しかしながら、環境条件などにより、しきい値を40dB 以上に設定せざるを得ない場合には、適切な処理を行い、判定に必要なデータを求めることになる。

これまで実タンクに対して実施された試験において、大型原油タンクに対する計測では、しきい値を40dB 以下に設定することが一般的に可能であり、Fig. 1 に一例を示すように、ほとんどの場合、振幅分布上で一つの直線状分布のみが観察された。実際、石油公団委託による（社）日本高圧力技術協会の調査・研究において、合計23基の大型原油タンクに対して試験が行われている⁶⁾。その中で振幅分布が単一の直線分布を表示しない事例は、強風下で計測された場合と、種々の雑音が混入して計測された場合の3例のみであった。

一方、製油所における製品タンクの試験時には、風や操業条件など様々な原因により、しきい値を40dB 以上に設定せざるを得ない場合があった。こうした際、検出されたAE 信号データが、振幅分布上で一つの直線を示す場合には、唯一の分布を形成すると仮定し、そのしきい値で得たデータを40dB まで外挿することにより解析を実施する。しかし、検出されたAE データが、複数の分布で構成されている際には、判定の基礎となる信号検出数に、かなりの誤差を生じ、誤った判定結果を与える可能性がある。このような事

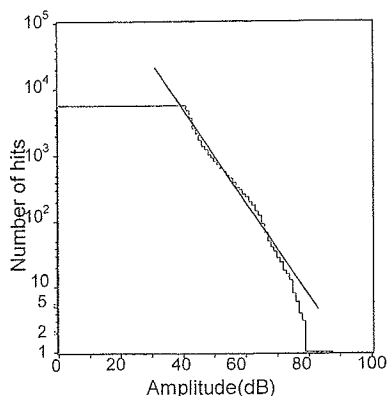


Fig. 1 Amplitude distribution typically observed in a large crude oil tank

例として、Fig. 2 が与えられている⁶⁾。振幅分布上で異なるAE 発生原因により、3つの傾きを持つ直線部が観察され、その発生源はそれぞれ、①配管を伝わって入力した振動に起因する外部雑音、②有意なAE データ、③固定屋根部から落下する水滴に起因した雑音、であると考えられた。したがって、①および②に起因するAE 信号をデータ採取後の処理により除去し、有効なAE データのみを利用して解析・評価が行われた。

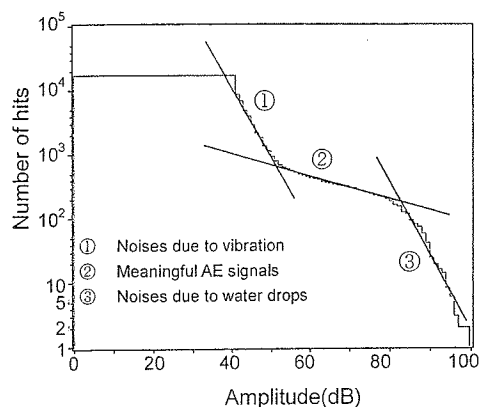


Fig. 2 Amplitude distribution observed in a product tank, showing three different slopes due to different AE sources (① vibration of pipes, ② meaningful signals, ③ water drops)

4. 実タンクで検出された雑音実測例^{5), 6)}

2003 年末までの時点で我国において、直径数mの小型製品タンクから同97mの大型原油タンクにいたるまで、60基余りの地上タンクに対してAE 試験が実施されている。採取されたデータには、有意な信号のみならず、様々な要因による雑音が混入しているため、前述したように振幅分布解析などを利用し、有意なデータのみを抽出してデータの評価・判定が行われる。

AE 試験を、信頼性の高い実用的な検査技術として確立し、実タンクに適用するには、AE 計測時に観察される雑音の発生挙動やパターンを正しく認識し、有意な信号を正確に抽出できることが重要である。ここでは、実タンクのAE 計測時に典型的に観察される雑音例を列記し、雑音除去を実施する際の基本資料としてまとめてある。

4.1 風による雑音

風の影響は、一般的に風速4m/s以上で現れると報告されている^{3), 7)}。10m/sの最大風速下で検出された風に起因する雑音信号の、欧州の試験手順^{1), 2)}に基づく位置標定結果の一例を、Fig. 3 に示す。底板の上1.2mの側板上に、円周方向に等間隔で配置されたAE センサ配列で検出された、1個のAE イベントに起因するとみなされるAE 信号セットにおいて、最初の3番目までに検出されたAE 信号の信号到着時間差に基づく一次近似解に対して、反復法で収束解として得られた平面位置標定結果である。

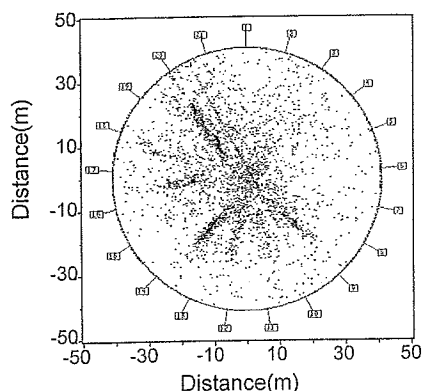


Fig. 3 AE source location based on TANKPAC procedure for AE data collected in a strong wind (crude oil tank, 82m in diameter)

こうした計測で、風の状況を把握するために風速計を設置し、その出力をAE計測装置の外部パラメータとして記録することができるが、風速計の設置場所とタンク周辺とは状況が異なり、さらにタンクの周囲でも場所により風速に差がある。このため、パラメータ信号として計測した風速データと、風に起因する雑音とは必ずしも対応せず、後処理でこうした雑音を除去することは困難である。しかし、実時間で風の状況を観察することにより、突発的な強風による雑音の発生時刻を記録しておき、後処理で除去することができる。Fig. 4は強風に起因した雑音検出の一例である。ここで、上図にヒット計数率の、また下図に風速（縦軸最大値は10m/s）の履歴が与えられている。枠で囲まれた部分は風速6m/s以上の風が記録され、高いAEヒット計数率と対応している。

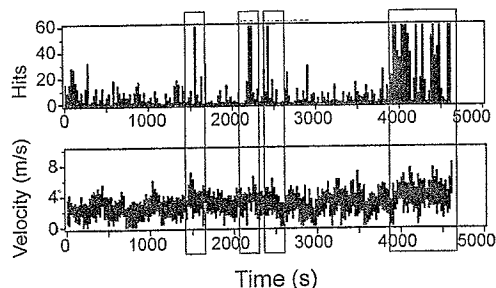


Fig. 4 AE hit rate (upper) and wind velocity (lower) histories observed in a crude oil tank (83.3m in diameter). High AE activities correspond to strong wind indicated by the boxes.

4.2 降雨による雑音

Fig. 5に示すように、降雨による雑音信号は振幅値が最大80dB以上に至り、信号発生位置がタンクの全域から平均的に検出されるとともに、集中発生箇所も所々に見られる。また、雨による影響は降雨時に止まらず、タンク屋根に滞留した雨水の流出が終わるまで続く。特に、直径80m程度の大

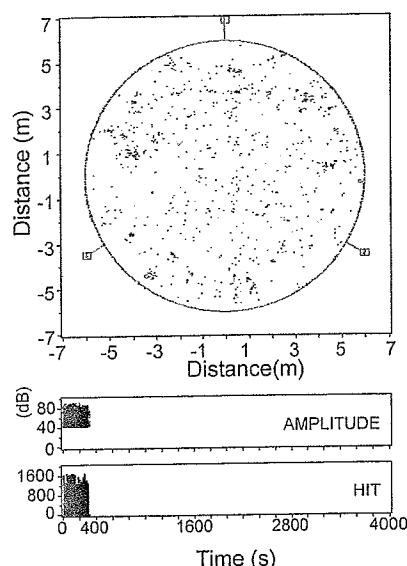


Fig. 5 Source location (upper) of AE data collected in a product tank (12m in diameter) in the rain. Amplitude (middle) and hit rate (lower) histories are also demonstrated.

型タンクでは、一度雨が降ると、その影響が24時間以上残存することがある。Fig. 6は、降雨終了後24時間経過時の計測結果の一例で、線状に集中発生が検出され、その位置が屋根部から底部に向けて配置された排水管の設置位置に対応するため、雨水の流出によるものと考えられた。

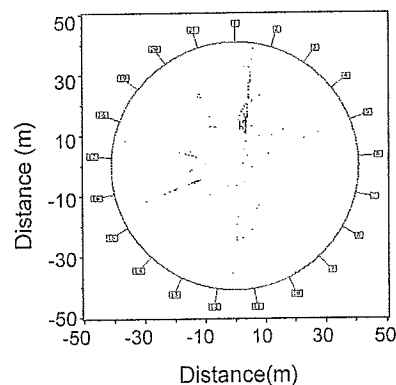


Fig. 6 Noises due to water flow in a drain pipe, observed 24 hours after rain stopped (crude oil tank, 82m in diameter)

4.3 鳥がタンク屋根上を移動した際の雑音

Fig. 7に、AEエネルギー計数率（上図）、振幅値（中図）、そしてヒット計数率（下図）が示されている。図から明らかのように、計測開始後2600s～2700sの間に高いAEヒット率で数多くの信号が検出された。この時間帯に、数羽のカラスがタンクの屋根上を移動するのが観察されたため、AE信号の増加はカラスによるものと確認された。このような雑音は後処理で削除することが可能であるが、AE試

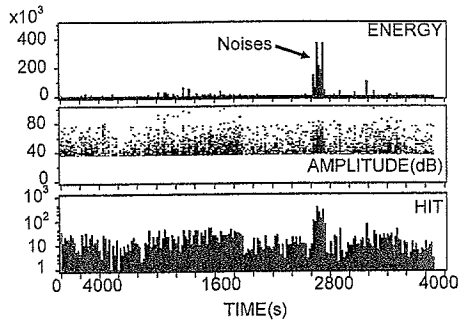


Fig. 7 Noises due to movement of birds on the tank roof (crude oil tank, 61 m in diameter)

験を行う時に、タンク周辺の状況を常に確認することが重要である。

4.4 結露による水滴の落下に起因する雑音

タンク屋根部に結露した水滴の落下に起因する信号は、2段のセンサ配置により、上段のセンサで必ず最初に検出されるため容易に識別でき、除去可能である。Fig. 8 に示す位置標定結果では、AE 発生源が 842 個検出され、幾つかの集中発生も見られる。一方、屋根部に結露した水滴の落下による信号を除去すると、Fig. 9 のように、AE 発生源は 80 個しか残らず、集中発生箇所も存在しなくなった。

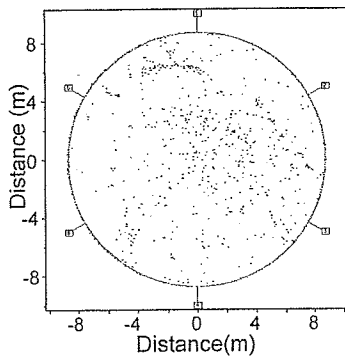


Fig. 8 Source location of AE data including signals due to water drops from the tank roof (water tank, 17 m in diameter)

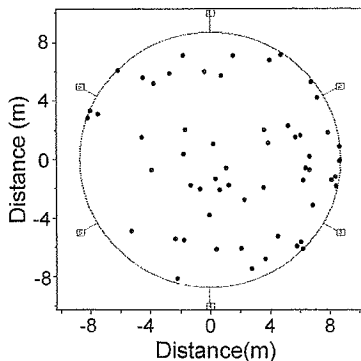


Fig. 9 Source location of filtered AE data excluding signals due to water drops from the tank roof (water tank, 17 m in diameter)

4.5 接続する配管から伝わる振動雑音

AE 法によるタンク底部腐食損傷診断を行うために、対象タンクの払出し・受け入れを前もって停止し、貯蔵物およびタンクの大きさによって、6 時間～24 時間以上静置することが求められる^{1), 2)}。さらに、AE 検査を実施する際には、対象タンクに接続した配管や、それに連結した外部配管の作動を停止する必要がある。Fig. 10 に、振幅値 (上図) とヒット計数率 (下図) の履歴が示されている。この計測例では、配管から伝わる振動がかなり強く、しきい値を 58 dB に設定しても 60 dB 以上の信号が数多く検出され、雑音の混入が避けられなかった。この時観察された振幅分布が Fig. 11 に示されている。振幅値が 60 dB を越え、100 dB に至る多くの AE 信号が検出されている。

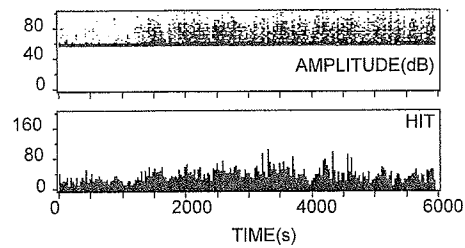


Fig. 10 Amplitude (upper) and hit rate (lower) histories of noises due to vibration of pipes (corn roof tank, 4.8 m in diameter)

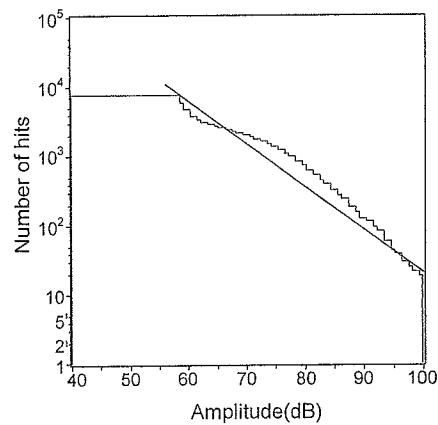


Fig. 11 Amplitude distribution of AE data including noises due to pipe vibration

一方、Fig. 12 に示す結果では、配管の振動がそれほど大きくなかったため、48 dB のしきい値で計測・評価ができた。これに対応する振幅分布が、Fig. 13 に与えられている。Fig. 11 に比べ両対数グラフ上に示される分布の傾きが大きく、また検出された信号の最大振幅値は 80 dB 程度であり、全体として信号の振幅値は小さい。しかしながら、この計測においても配管の振動に起因する雑音を完全に除去することは困難であり、正しい評価ができない可能性も存在した。したがって、こうした雑音の混入を防ぐには、配管振動が全くない状態で計測を実施するのが基本であり、その

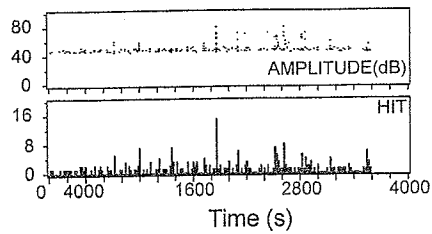


Fig.12 Amplitude (upper) and hit rate (lower) histories for the data after having filtered noises due to vibration of pipes by setting threshold at a high level (corn roof tank, 11.6m in diameter)

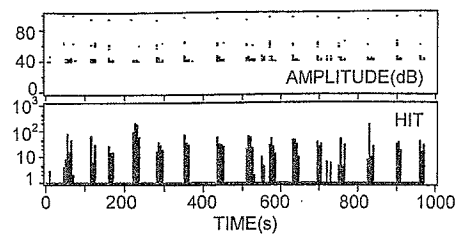


Fig.14 Amplitude (upper) and hit rate (lower) histories, showing periodic noises due to pressure control by nitrogen gas injection (dome roof tank, 13.5m in diameter)

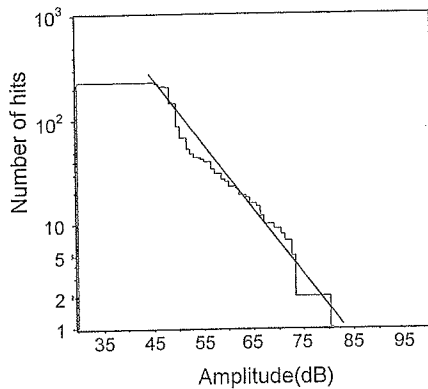


Fig.13 Amplitude distribution of AE data detected under low noise condition

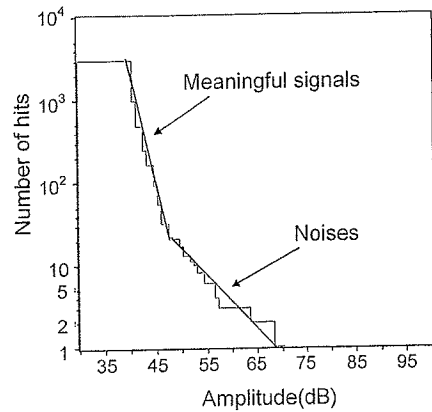


Fig.15 Amplitude distribution of AE data consisting of meaningful AE signals and noises due to nitrogen gas injection. (The second part of the distribution showing the smaller slope corresponds to the noises due to the gas injection)

ためにタンク管理者の協力を得て、配管の作動を一時的に停止する必要がある。

4.6 周期的に発生する雑音

ドーム式固定屋根を持つタンクでは、温度などの変化に対応してタンクの内圧が変化の際、窒素ガスを流入させたり、流出させたりすることにより、タンクの内圧を一定に保持する場合がある。しかし、AE計測を行う際に、窒素ガスの流入により Fig.14 に、振幅値 (上図) としてヒット計数率 (下図) として観察されるように、周期的な雑音源となることがある。この場合には、窒素ガスの流入による雑音は、約 60s の間隔で発生し、一回の流入に対して 18s 程度持続していた。ここで観察された振幅分布が、Fig.15 に示されている。傾きの異なる 2 つの分布が明確に見られ、大きな振幅値で構成される傾きの小さい方の分布は、窒素ガスの流入に起因する雑音と判断された。このような周期的に発生する雑音は、窒素ガス流入口付近にガード・センサ (Fig.14 に示す振幅値 90dB を超えた信号を検出) を設置することにより、後処理で取り除くことが可能である。しかし、こうした雑音がかなり短い周期で頻繁に発生し、有効な評価データが細かく分離され、時間的に不連続となる場合には、評価結果に影響を及ぼす可能性を完全には否定できない。したがって、なるべく外気の温度が安定し、窒素ガスの流入・流出に起因する雑音発生を最大限抑制できる時間帯を選んで、AE 計測を実施することが推奨される。

4.7 個別センサで検出される雑音

タンクの AE 試験を行う時に、場合によって不特定のセンサで多くの信号が検出されることがある。その一例として、Fig.16(a)~Fig.16(c) に、振幅値そしてヒット計数率の履歴が示されている。ある原油タンクを 3 回計測したところ、それぞれ 1 個のセンサから他のセンサに比べ、2 桁多くヒット信号が検出された。これらの発生原因は明らかにはされていないが、信号発生の不特定性から、一種の雑音であると判断された。

AE 法によるタンク底部の腐食損傷評価試験は、通常 1 時間の計測で実施される^{1), 2)}。しかし、個別センサで雑音信号が検出される場合には、計測時間を延長し、雑音のない時間帯のみを用いて解析する必要がある。さらに長時間の計測を実施することにより、データの再現性が確認され、試験結果の信頼性を高めることが可能である。

4.8 特定の時間帯に複数のセンサで検出される不連続信号

4.7 で述べた雑音信号は、不特定の一つのセンサに限って検出されたものであるが、Fig.17 に示すのは、特定の時間帯に複数のセンサで検出された不連続信号である。ここで、振幅値 (上図)、およびヒット計数率 (下図) の履歴に見られるように、計測開始後約 620s ~ 680s, 700s ~ 1000s,

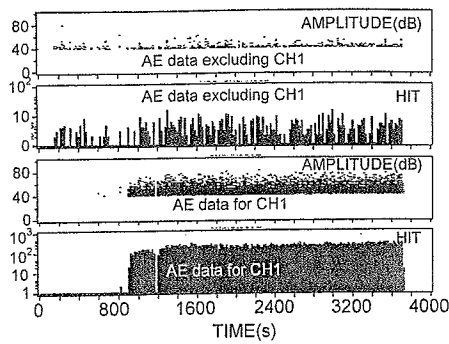


Fig.16(a) Amplitude (upper) and hit rate (second highest) histories of AE signals detected at other channels than CH1, and amplitude (third highest) and hit rate (lower) histories detected at CH1 during the first test. (crude oil tank, 82m in diameter)

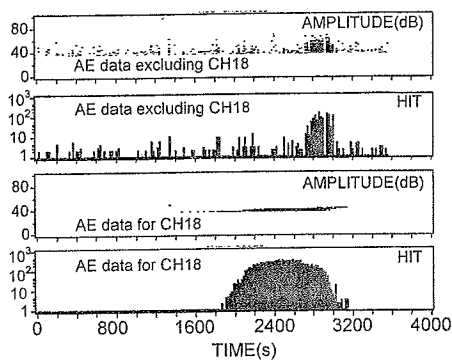


Fig.16(b) Amplitude and hit rate histories observed during the second test. High AE activities due to noises are observed at only CH 18 (crude oil tank, 82m in diameter)

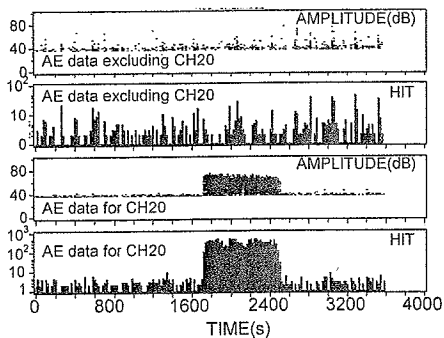


Fig.16(c) Amplitude and hit rate histories observed during the third test. High AE activities due to noises are observed at only CH 20 (crude oil tank, 82m in diameter)

1160s ~ 1620s, 3860s ~ 4030s, 4180s ~ 4230s, 4380s ~ 4503s という6つの時間帯に、著しく多くの信号が検出された。しかしながら、それに対応するAE発生源を特定することは出来なかった。またこのAE信号は、屋根部に結露した水滴落下に起因する信号とも異なっていた。さらに Fig.18 に示

すように、不連続信号の発生時間に対応するAE源の位置標定結果によれば、ここで得られたAEイベントにおいて、特定した発生集中箇所は存在しなかった。

通常のAE計測において、こうした特定の時間帯のみに不連続的に発生する信号が、腐食に起因するものとは考えにくい。したがって、本例ではAE源の位置標定結果を調査したうえ、AEヒット計数率が安定して検出された時間帯で得たデータのみを使用して、解析・評価が行われた。

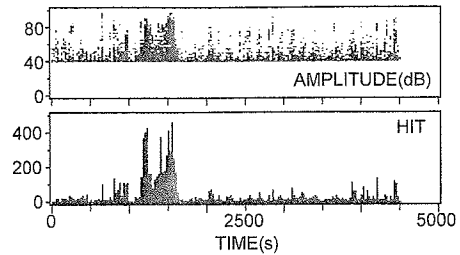


Fig.17 Amplitude (upper) and hit rate (lower) histories observed in a water tank (17m in diameter). Strong noises are detected during a certain period (1,160 ~ 1,620s) by multiple sensors

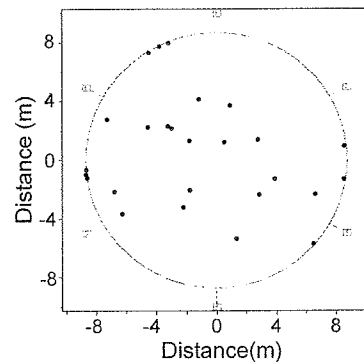


Fig.18 Source location of AE data detected during 1160-1620s in the water tank (17m in diameter). No cluster is visible in the figure

5. 結言

実構造物のAE試験において、異なるAE発生源を識別し、有意な信号と雑音を区別するのに有効な振幅分布解析の理論を述べ、適用例を示した。また、実タンクのAE計測時に典型的に観察される雑音の検出例を列記し、雑音除去を実施する際の基本資料としてまとめた。

微弱な腐食に起因する信号を捉えようとする、AE法によるタンク底部の腐食損傷診断試験は、計測装置が高い感度に設定されているため、雑音の影響を受けやすい。したがって、試験を行う際に、雑音の識別と対策が不可欠であり、タンク管理者の協力を得て、操業による雑音を最大限低減したうえ、計測中にも異常信号の発生とその原因などに対して、十分に配慮することが重要である。

現在、イギリス、フランス、ドイツ、オランダなどの欧州諸国において、年間1000基以上のタンクに対してAE試験が実施されている。さらにアメリカでも、大手石油会社でRBI (Risk Based Inspection) 適用の一環として、大掛かりなAE試験実施のプロジェクトが2003年に始まり、今後急速な進展が予想される。こうした現状から、とりわけ欧州ではタンクの底板評価に対するAE試験は標準化され、一般的な検査方法として確立されたものとみなして差し支えないと考えられる⁶⁾。

我国においても、AE試験のデータベース化が進行中であり、我国固有の維持管理体制、および法体系に即したAE試験手順、そして評価・判定基準を策定しようとする作業が進んでいる⁷⁾。今後AE試験を信頼性の高い実用技術として確立するため、さらにデータベースの充実が期待されている。

参 考 文 献

- 1) P. T. Cole and P. J. Van de Loo: Listen to your Storage Tanks to Improve Safety and Reduce Cost, Acoustic Emission - Beyond the Millennium, T. Kishi, M. Ohtsu and S. Yuyama editors, Elsevier, pp.169-178, (2000)
- 2) Guide pour L'inspection et la Maintenance des Reservoirs Metaliques Aeriens Cylindriques Verticaux D'hydrocarbures Liquides en Raffinerie, Edition Aout 2000, Union Francaise des Industries Petrolieres, (2000)
- 3) 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, 40(4), pp.176-184, (2002)
- 4) 関根和喜, 橘川重郎, 山田 實, 湯山茂徳: タンク底板のAE法による腐食損傷診断, 保守検査シンポジウム講演論文集, pp.77-82, (2001)
- 5) (社)日本高圧力技術協会: 石油公団委託平成10~12年度経年変化を考慮した長期備蓄タンクの診断・保全技術に関する調査研究委員会報告書, (1999-2001)
- 6) (社)日本高圧力技術協会: 石油公団委託平成13~15年度経年タンクの供用中グローバル診断技術と開放検査の最適化に関する調査・研究委員会報告書, (2002-2004)
- 7) 森田一郎, 荒川敬弘, 畠中宏明, 荻原 実: 石油タンク底板の腐食AE波検出に関する研究, 圧力技術, 40(4), pp.203-212, (2002)
- 8) (独)消防研究所: AE法による石油タンク底部の腐食モニタリング技術に関する共同研究報告書, 消防研究所研究資料第52号, (2001)
- 9) 竹本幹男: 大気錆の成長・破壊によるアコースティック・エミッション, 材料と環境, 51(6), pp.256-261, (2002)
- 10) 曾我部隆洋, 竹本幹男: 円筒タンク底板の音源位置標定精度改善のためのAE検出・解析法, 非破壊検査, 53(1), pp.29-34, (2004)
- 11) 大津正康: アコースティック・エミッションの特性と理論, 森北出版株式会社, p.36, (1988)
- 12) 金森博雄: 地球科学8, 地震の物理, 岩波書店, p.236, (1978)
- 13) B. Gutenberg and C. F. Richter: Seismicity of the Earth (2nd ed.), Princeton University Press, Princeton, p.310, (1954)
- 14) 仲佐博裕: AE振幅分布とその信号処理, 非破壊検査, 27(4), pp.236-244, (1978)
- 15) 湯山茂徳, 岸 輝雄, 久松敬弘: すきま腐食-SCC発生のAE法による検知とその解析法, 鉄と鋼, 68(14), pp.2019-2028, (1982)
- 16) 仲佐博裕: フラクタル技術とその応用, 非破壊検査, 42(8), pp.425-440, (1993)
- 17) 関根和喜: AE法による石油タンク底部の腐食損傷評価手法に関する指針作成委員会の立ち上げに関する趣意書, エネルギー貯槽安全研究委員会, (社)日本高圧力技術協会, (2003)