

タンク AE 計測におけるノイズ除去に関する検討

中村 英之*
Hideyuki Nakamura

荒川 敬弘**
Takahiro Arakawa

AE (Acoustic Amission) 試験は、近年のコンピュータ技術の進歩に伴いより高度な解析が可能になったことで、様々な分野での適用が拡大しつつある技術であるが、超音波探傷試験などとは本質的に異なる特徴がある。超音波探傷では探触子から超音波を放射させ、既に存在しているきずからの反射波によりきずの存在や大きさを検出するが、AE 法では音波を放射せず、きずの成長時に生ずる亀裂や破壊に伴って発する弾性波を計測することによって検出する。

AE 法は、検査対象物が実際の使用状態にある場合や圧力容器の耐圧試験のように外力が加わることできずが発生・成長している状態に適用する計測方法であり、計測時にはきずの成長に伴う信号のほかにも多くのノイズを検知して評価精度を著しく悪くすることがあるため、ノイズを識別し除去することが重要となる。

本報では、タンク内面より液滴が液面に落下して発生するノイズの識別と除去に、タンク側板の周囲に配列した2段の AE センサを用いて計測し、三次元位置標定により音源位置を求めて評価する方法が極めて有効であることを紹介する。

キーワード：石油タンク、タンク底板、腐食評価、AE、アコースティック・エミッション、液滴ノイズ、ガードセンサ、3次元位置標定

1. はじめに

現在、IIC では、AE 法を用いたタンク底板のグローバル診断技術の開発に取り組んでいる（グローバル診断とは、短時間の計測で構造物全体の損傷の程度を評価する技術であり、リスクベースの保守管理におけるスクリーニング等に用いられる）。

リスクベースの保守管理では、AE 法等によるグローバル診断により一次評価を行い、損傷が

より懸念される構造物を抽出し、集中的に処置を施すことにより、合理的な保全が可能になる。またスクリーニングを目的としたグローバル診断では、損傷の過大評価は安全サイドの評価となることから許容されるものの、損傷を過小に評価することがあってはならない⁽¹⁾。

AE 計測によるタンク底板腐食診断は、欧米では 1990 年頃より適用され始め、既に数千基の適用実績がある。国内でも、各方面で検討が進められ^{例えば (2)}、また日本高圧力技術協会規格 HPIS

* 研究開発事業部 生産技術部 (兼) 技術研究所 次長 博士 (工学)

** 技術研究所 所長 工学博士

G 110 TR 2005「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技術指針」⁽³⁾も2005年に制定されるなど適用の機運も高まってきている。

本診断技術では、AE計測の測定精度に影響する最大の要因として、種々の原因で発生するノイズが挙げられるが、損傷に伴う信号にノイズが加算されることにより実際の腐食状況より過大に評価する結果となる。

本診断技術の開発では、ノイズが混入したデータは安全サイドの評価となりグローバル診断は可能となるものの経済性および本診断技術の信頼性を大きく損なう要因となることから、腐食に伴う信号とノイズとの積極的な識別技術の開発に注力している。

2. タンク計測における各種ノイズ

ノイズの発生要因には、電気ノイズ、風や雨によるノイズ、配管を伝播してくるノイズおよび油の受け入れや払い出し時の内部流体の流れに伴うノイズなどが知られている。

図1は、同一の健全なタンクに対して、異なる風環境の時にAE計測を行って、1時間で発生し

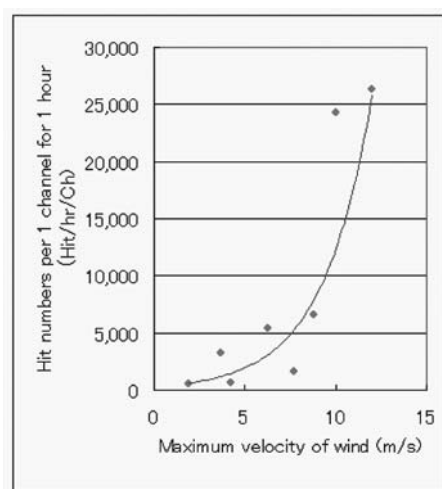


図1 ノイズ発生に及ぼす風の影響

た1チャンネル当たりのヒット数を計測時の風速と比較した結果である⁽⁴⁾。風が強くなるにつれて急激にヒット数が多くなり、風によるノイズが多く発生していることがわかる。

ノイズへの対処方法としては、電気ノイズに対しては波形持続時間の短い単発的信号を除外することでノイズ除去が可能であるが、風や雨によるノイズに対してはノイズの影響を受けない気象環境での計測を行うこととなる。

なお、腐食に伴う信号は波形持続時間が長いことが明らかとなり、図2に示すように、波形時間にしきい値を設けて評価することも風ノイズなどの識別に有効であることも報告されている⁽⁴⁾。この他、油の受け入れや払い出し後に発生するノイズは、受け払い後に一定の時間をおいてタンク内の流動が沈静化してから計測することや、配管などを通して外部より伝播してくるノイズに対しては、検知センサを設けてノイズ発生時間帯のデータを除いて評価するなどの対応が必要である。

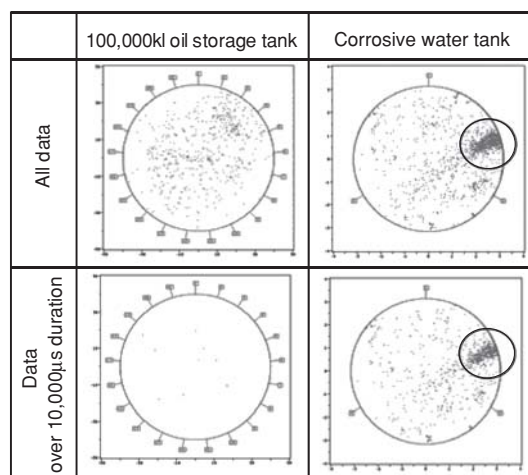


図2 波形持続時間に着目したタンク底板腐食診断結果の例

3. 液滴ノイズ識別の検討

3.1 計測方法

本計測は、図3に示すような直径15.5m、高さ12.2m、材質SS400、底板の設計厚さ9mmのコンルーフタンクを対象とした。また、センサの配置は、側板上にAEセンサ（30kHz共振型）を90°ピッチに4個ずつ2段（高さ1mおよび1.5m）で取付けた。各方位のセンサ配置は、0°がch5, ch9, 90°がch6, ch10, 180°がch7, ch11, 270°がch8, ch12とした。

AE計測は、計測を開始する8時間以上前にタンクの稼動を停止し、液面高さ5.4mにて静止させた状態のまま1時間実施した。なお、タンク周囲の最も風の強い位置に風速計を配置して計測時における風速変化を計測したが、最大風速3.0m/s、平均風速0.5m/sと穏やかな気象条件であり、風に起因するノイズの混入はほとんどないものと考えた。

なお、計測対象としたタンクは、過去に底板が全面交換され、AE計測後の開放検査における肉厚計測では、設計板厚9.0mmのところ最小肉厚が9.1mmであることから、腐食が進行している可能性は低いと考えられる。

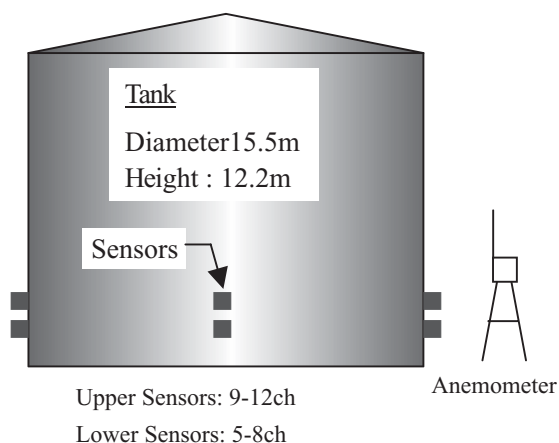


図3 試験に用いた屋根付きタンクと計測

3.2 計測結果および考察

図4は、タンク側板の下段に取り付けたセンサ（5-8ch）にて1時間計測したデータを示している。計測されたAEの活動度は、図に示すように1時間1チャンネル当り8187ヒットと非常に高い数値を示し、また2次元位置標定でも、AEの集中発生箇所がタンクを中心から同心円状に多数点在していることを確認できる。このAE計測結果に基づいて腐食を評価すると、タンク底板における

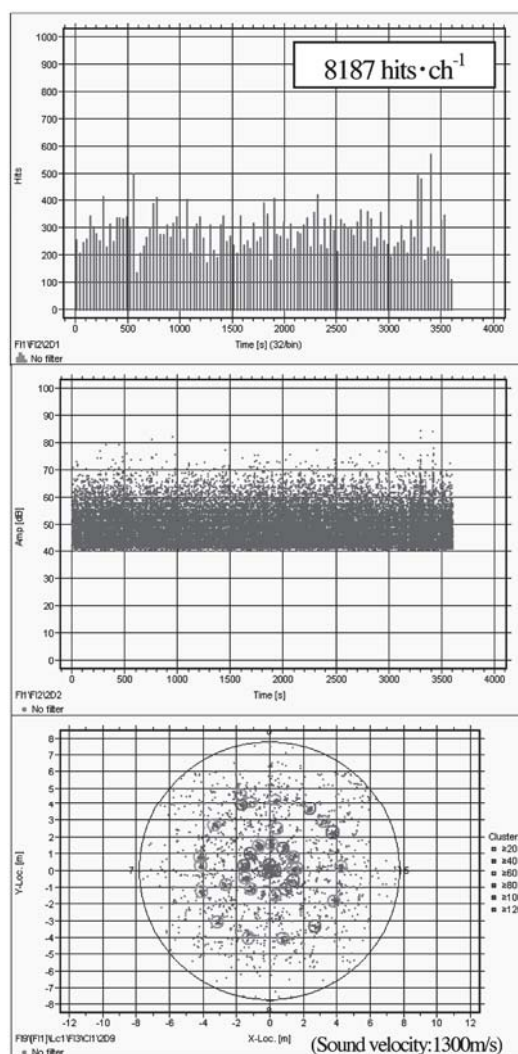


図4 下段に取り付けたAEセンサによる三次元位置標定結果

腐食が激しく進行していることを示し、明らかに AE 計測直後に実施したタンクの開放検査による腐食状況と相反するものであった。

一方、側板に 2 段で取付けたセンサを用いて 3 次元位置標定にて発生源を確認した結果、計測された信号の多くは、**図 5** に示すように液面高さ 5.4m 近傍に集中していることがわかった。これらの観察により、信号の多くは、腐食によるものではなく、液面に落下した液滴により発生したノイズであると考えられる。

なお、液滴ノイズが同心円状に標定されたのは、タンク屋根の内面に標定された AE 発生源の形状に対応する張り出し部があることから、液滴がこの張り出し部に溜り落下したためと考えられる。

さらに、液面高さで同心円状に標定された AE の波形を観察すると、内側の円および外側の円のそれぞれで標定された信号は、**図 6** に示すような特徴のある波形を示すことが確認された。これらの波形は、腐食基礎試験で採取した**図 7** に示す腐食に伴う AE の波形⁽⁸⁾とは大きく異なることから、液滴によるノイズの波形特徴を示すものであると考える。

図 8 は、タンクの測定結果から三次元位置標定の位置標定高さ分布を示すものであり、液面高

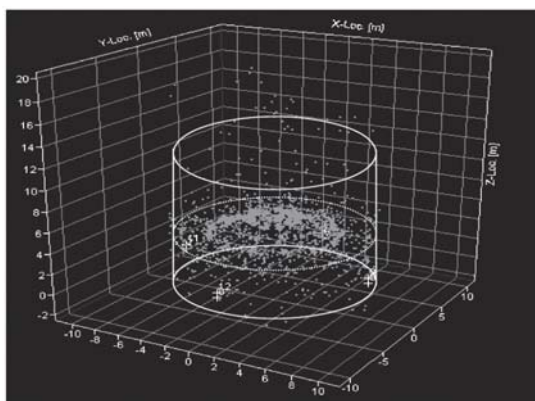


図 5 上下 2 段に取り付けた AE センサによる三次元位置標定結果

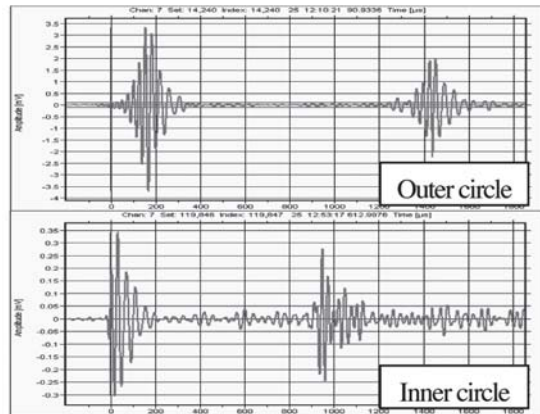


図 6 三次元位置標定で液面近傍に評定された波形の代表例

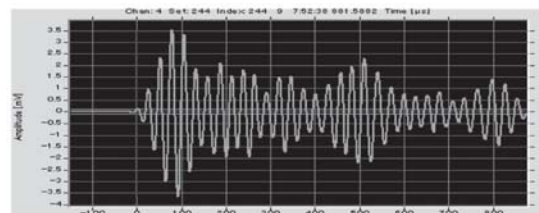


図 7 腐食基礎試験で得られた腐食波形の代表例

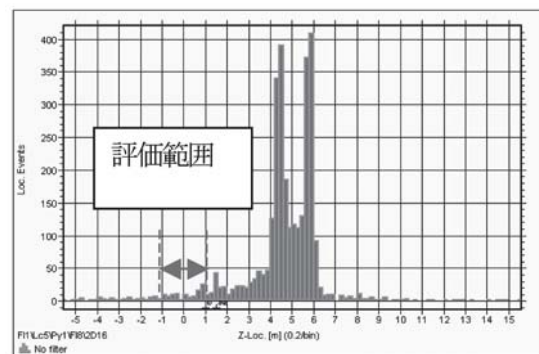


図 8 三次元位置標定結果より求めた音源位置の高さ分布

さ 5.4m 近傍で AE が集中して発生しているのがわかる。また、タンク底板位置に当たる高さ 0 m 近傍の標定数は少なく、底板の下方にも位置標定数は広く分散し、底板などで反射した液滴ノイズ

の存在を示している。

液面近傍で発生したノイズの影響が比較的小さくなる底板から±1mの高さ範囲に標定される信号のみを残し、底板近傍の三次元位置標定に寄与したヒット数の時間履歴および2次元位置標定結果を図9に示す。

一方、従来のノイズ除去方法である上段に取付けたセンサをガードセンサに用いてノイズを除去する方法の効果について検討した。

汎用のAE計測装置による計測では、最初の信号受信から一定の時間内に受信された信号の全てを同一のイベントにより発生した信号であると認識する。ガードセンサによるノイズ除去は、このイベント識別機能を利用し、同一イベントで発生した最初の信号をガードセンサに指定したセンサで受信した場合、ノイズと判断して除去する方法である。

したがって、センサを上下2段に取り付け、上

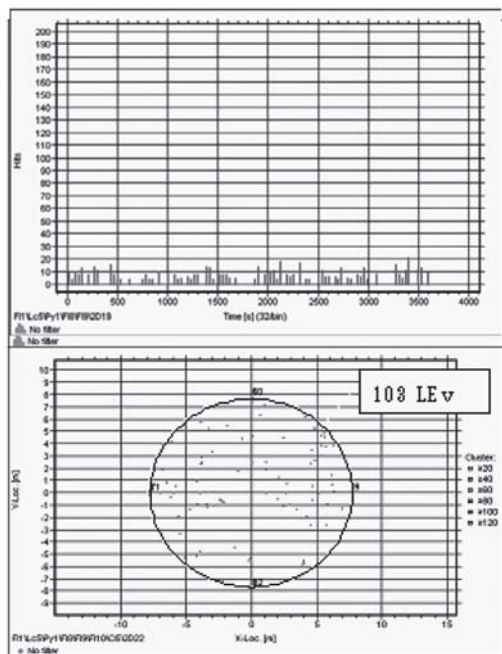


図9 三次元位置標定結果より底板近傍(±1m以内)に音源を持つヒットに対する発生履歴と二次元位置標定結果

段をガードセンサとすることがタンクの上方から到来するノイズの除去に有効とされる。

前項で示すデータに対し、ガードセンサによるノイズ除去を行った結果を図10に示す。

上図はノイズ除去後のヒット数の時間履歴を示し、下図は下段センサによる2次元位置標定結果を示す。このノイズ処理では、除去前と比較して、ヒット数で91%、標定イベント数で95%の信号が除去され、大きなノイズ除去効果があることが確認できた。

しかしながら、1時間1チャンネル当りの739 hitsのヒット数は、腐食のない健全なタンクと判定するには、なお不十分と思われる。また、二次元の位置標定結果においても、ほぼタンク底板中央にイベントがやや集中している箇所が観察され、腐食の存在を示唆している。

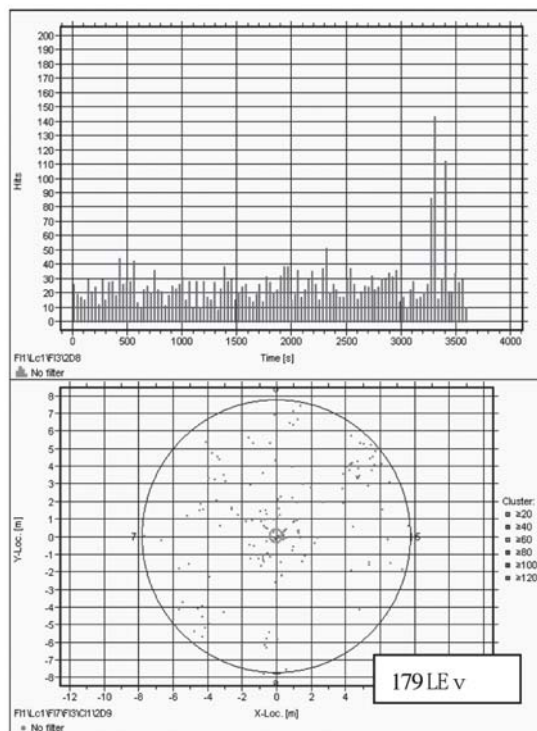


図10 ガードセンサを用いて上方から到来するイベントを除去したときのヒットの発生履歴と二次元位置標定結果

さらにノイズ除去後に残った信号の波形観察では、46%（100個の波形観察結果）の信号が、**図6**に示すような液滴ノイズ波形のやや形状が崩れた波形特徴を示すことも確認され、平均振幅値が45dBと低いことから、底板などで反射した液滴ノイズである可能性が考えられる。

上方で発生した液滴ノイズが例えば底板で反射して受信されるような場合は、あたかも底板のさらに下方に虚像を結び、下方に音源があるかのように判定するためにガードセンサによるノイズ除去が不可能になると考えられる。ガードセンサによるノイズ除去は、ヒット数で9割近いノイズを除去するなど効果的な手法ではあるが、このように底板などで反射したノイズを除去できないことが一つの限界と考えられる。

次に、三次元位置標定によるノイズ除去方法の適正さを確認する目的で、数年間大気に曝されて腐食が顕著なタンクに水を張って試験した。三次元位置標定で得られた音源位置の高さ分布を**図11**に示す⁹⁾。明らかに音源位置は底板位置に相当する高さ0m近傍で最も頻度が高く、底板の腐食を強く示唆する結果が得られており、本方法は、ノイズを除去しつつ、底板の腐食状況を評価するのに適した方法であることがわかる。

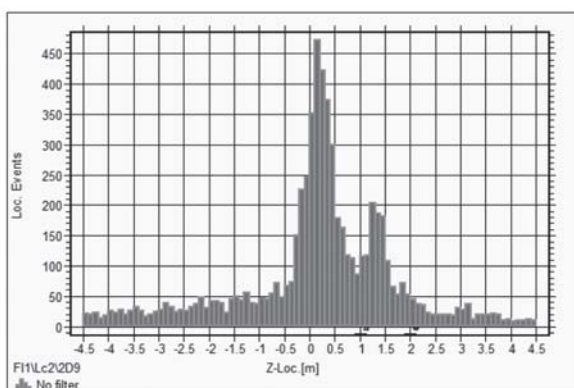


図 11 腐食タンクに対する三次元位置標定結果から求めた音源高さ分布

4. まとめ

タンク底板腐食のグローバル診断手法としてAE計測の期待が高まっている。これに応えるために、ノイズの識別と除去の検討に努めており、特にタンク内面から液面に落下する液滴によるノイズの除去方法として、側面に二段に配置したAEセンサにより三次元位置評定することが極めて有効であることが確認できた。この方法によれば、健全なタンクにおいて、液滴ノイズにより1時間1チャンネル当たり8187ヒット（イベント数3668）が得られたのに対し、三次元位置評定によるノイズ除去結果、69ヒット（イベント数103）までノイズを除去でき、健全なタンクであると評価することができた。

この結果は、従来から用いられているガードセンサによるノイズ除去結果の739ヒット（イベント数179）に比べても十分に改善された結果を示している。

この他、バーレン社製AMCY-5の波形識別ソフトを併用して、液滴ノイズ波形を識別すればさらにノイズ識別精度を高めることができることを確認している。近年のコンピュータ技術の進歩は著しく、最新のソフトを駆使することにより、さらにノイズ識別制度を高めることができると考えており、現在、検討を進めている。

参考文献

- 1) 荒川、中島、畠中、中村 “保守に対する検査の役割といくつかの対応” 日本非破壊検査協会 保守検査特別研究委員会ミニシンポジウム (H19.9月)、資料 No.004-674、pp.87-96
- 2) 中村、萩原、荒川、田上、井戸 “AE法によるタンク底板腐食検査技術の概要” IIC REVIEW No.31 (2004.4月)、pp.47-55
- 3) (社) 日本高圧力技術協会、“HPIS G 110 TR

- 2005、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技術指針”、(2005)
- 4) 森田、荒川、畠中、萩原“石油タンク底板の腐食AE波検出に関する研究”圧力技術、Vol.40、No.4、(2002)、pp.31-40
- 5) (財)エンジニアリング振興協会、“製油所内貯蔵設備の信頼性評価技術”(AE法による操業中タンクの底板腐食診断・評価技術)成果報告書、(2003)
- 6) 湯山、橘川、山田、関根、“HPIS「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技術指針」について”、第15回アコースティック・エミッション総合コンファレンス論文集、PP.71-78、(2005)
- 7) 中村、荒川、関根、笠井、前田、鈴木“タンクAE計測における液滴ノイズの識別及び除去方法の検討”、圧力技術第46巻第1号、PP.24-29、(2008)
- 8) 中村、荒川、福田、“腐食AE波発生メカニズムの検討”、平成16年秋季大会概要集、PP.119-120、(2004)
- 9) 中村、荒川、“タンクAE計測におけるノイズ処理方法の検討”、平成19年度表面探傷・保守検査合同シンポジウム論文集、(2008)



研究開発事業部
生産技術部 兼技術研究所
次長 博士(工学)
中村 英之
TEL. 045-759-2120
FAX. 045-759-2155



技術研究所
所長 工学博士
荒川 敬弘
TEL. 045-759-2927
FAX. 045-759-2155