石油貯蔵タンク底板腐食に対する AE 計測に おける信号とノイズの分別[†]

長 秀 雄^{*} 米 津 明 生^{**}
鈴 木 裕 晶^{***} 竹 本 幹 男^{****}

Classification of Corrosion-AEs Form Noises for Corrosion Inspection of Oil Storage Tank Floor Plate

by

Hideo Cho*, Akio Yonezu**, Hiroaki Suzuki*** and Mikio Takemoto****

Classification of corrosion-AEs from noises is attempted for the source location of acoustic emissions (AEs) from storage tank in service. As the AEs are monitored by resonant-type sensors with center frequencies lower than 50 kHz and amplified by 60dB, the system detects both the corrosion-AEs and noises. Noises are generally minimized by changing the threshold value of the monitoring system or interrupting the monitoring during strong winds and rain drops, but not be separated based on the quantitative waveform analyses. We first studied waveform characteristics of AE events monitored by sensors mounted on annular plate or side wall of the tank, and then separated corrosion-AEs from noises. Percentage of corrosion-AEs to the total events are found to be 30~50% of the total events monitored by the sensors on the annular plate in windless day, but less than 10% at the monitoring on windy day.

Key words : Acoustic emission, Signal, Noise, Storage tank, Floor plate, Corrosion

1 緒

言

本邦では、約78,000 基の地上置き貯蔵用タンクが存在 しており、1000kL以上の屋外特定タンクでは規模に応じ て7~15年に一度の開放点検が義務付けられている。開 放点検では底板の腐食減肉量を超音波によって離散的に 計測し,底板の健全性を担保してきた。一方,英米を中 心とする先進国では、アコースティック・エミッション (AE) 法をタンク底板の状態監視に用いている。その方 式として TANK-PAC^{1), 2)}と呼ばれる方法があり,これは 側壁に設置した AE センサによって1時間計測し、ノイ ズを除去した後の全 AE データと大きな振幅を持つ AE の有無などによってタンクの状態をグレード分けする手 法である. つまり, そのグレードに基づいてタンクオー ナが開放点検周期を自主的に決定する状態管理型の自主 保安体制が進んでいる。一方、日本においても 2006 年に 高圧力技術協会による技術指針 (HPIS-G110TR2005)³⁾が 発行され, AE 法の適用が検討されている. この技術指 針では、"側壁に設置した1センサの1時間あたりの有 意な信号数 (AE activity) から腐食リスクパラメータ (Corrosion Risk Parameter, CRP (mm/year)) が推定でき る"としている。どちらの手法においても有意な信号 (ノイズを取り除いた AE)の情報に基づいた評価が不可

欠となる. なお、これらの計測での有意な AE とは、腐食 生成物である錆の破壊によって発生した AE である.4,5平 成19年4月27日付けの消防庁の資料(危険物施設に関 する腐食・劣化評価手法の開発・導入環境整備に係る調 査検討報告書の公表⁶⁾)では,TANK-PAC 方式を用いて 105 基に対して評価した結果,76 基が腐食状態は良好と 評価されたが、そのうち24基では開放点検による検査 では減肉量20%以上の指示があったと報告している。そ の原因として、測定環境のノイズの影響によって有意な 信号が失われたこと、腐食活動は常に一定ではなく、活 性期と休止期があるため休止期に計測を行った場合有意 な AE の計測ができないことが挙げられている. 著者ら もいままでに数基の屋外特定タンクにおいて底板腐食を 評価するために AE 計測^{7)~9)}を行ったが,消防庁の報告 と同様に腐食活動による AE (錆破壊による AE)の発生 は計測時期や時間に大きく依存することを報告しており, 短期間の AE 計測では腐食損傷の程度を評価することは 難しいと考えている.しかし,錆破壊からのAEの音源位 置は、超音波肉厚検査による底板減肉部と概ね一致する ことから,短時間のAE計測は,AE源位置標定を行って 開放点検時における底板の検査領域の絞込みを行い、漏 洩につながる最大深さの局部腐食を見逃さないことに使

† 原稿受理 平成 20 年 3 月 11 日 Received Mar. 11, 2008 © 2008 The Society of Materials Science, Japan

* 青山学院大学理工学部機械創造工学科 〒229-8558 相模原市淵野辺, Dept. of Mech. Eng., Aoyama Gakuin Univ., Fuchinobe, Sagamihara, 229-8558

** 正 会 員 大阪大学大学院工学研究科 〒565-0871 吹田市山田丘, Graduate School of Eng. Osaka Univ., Yamadaoka, Suita, 565-0871

*** 千代田アドバンスト・ソリューションズ㈱ 〒221-0031 横浜市神奈川区新浦島町, Chiyoda Advanced Solutions, Co., Kanagawa-ku, Yokohama, 221-0031

**** 正 会 員 カンメタエンジニアリング㈱ 〒584-0022 富田林市中野町東, Kanmeta Eng. Co., Ltd., Nakanocho-higashi, Tondabayashi, 584-0022

用するべきと考えている. つまり, できるだけ位置標定 が可能な錆破壊の AE をノイズによる AE から抽出する 技術が大事になる.

ノイズには、風雨によるノイズの他, 配管を介しての ポンプや流体ノイズ(冬季におけるスチーム配管からの ノイズ),周辺機器の点検・補修作業からのノイズ,電 気・電磁波ノイズなど区別しやすいノイズと区別の難し いノイズがある。しかし現場対応型の AE 計測装置は、 リアルタイムに波形そのものを解析せず,発生頻度やAE の振幅や持続時間などの特徴量パラメータのみを解析す るためノイズを分別することは難しい. 振幅分布解析か らノイズを分別する方法¹⁰⁾は報告されているが、すべて の場合において適用できる手法でもない.⁹時系列波形か らノイズを分別した例は少ないので、今回は、4,890kL のナフサ貯蔵円筒タンクのアニュラー板張出し部と側壁 に共振周波数が 30kHz と 50kHz センサ(センサは以後 その共振周波数を用いて 30kHz センサのように呼ぶ)を それぞれ8個設置してAEを計測し、事後解析によって ノイズの特徴を明らかにして信号を分別した。比較的報 告例の少ない^{11),12)}現場装置を用いた実機による AE モ ニタリングにおける問題を明らかにする.

2 計測方法およびシステム

検査に供用されたタンクは、ナフサ貯蔵タンク(1968 年製のフローティングルーフ型,容量:4,890kL,内径: 20.342m, 高さ: 16.41m) である. 底板は 9mm 厚の SS400, アニュラー板は 9mm 厚の SM400C, 側壁は 11 mm(最下段)~6mm厚のSS400である。共振周波数 が 30kHz と 50kHz の 8 個のセンサを、タンク中央を軸 として 45° 間隔にアニュラー張出し部と側壁に設置して 2日に渡って AE を計測した. センサの設置場所と種類 は目的に応じて変更する予定であったが,計測2日目は 風が強く、十分な検討はできなかった. なお側壁センサ の設置高さは1740mmで、計測時の液レベルは12.5mで あった. Fig.1にセンサ設置位置と計測システムを示す. センサは 45° おきに 8 個をタンク円周に設置したが,ア ニュラー板張出し部に設置したセンサはチャンネル (Ch.) 1~8、側壁に設置したセンサは Ch.9~16 とした. 30kHz センサの出力は、20-100kHz のバンドパスフィル ターを介して, 60dB 増幅した. 50kHz センサ出力は 30kHz のハイパスフィルターを介して 60dB 増幅した. 計測装置には汎用システム(C-AEAS,千代田アドバン スト・ソリューションズ(株)によるモニタリング装置)と 研究室で開発したシステム (ADAS) を用いた. C-AEAS による AE 波形の RF 出力をセンサの種類別(30kHz セ ンサと 50kHz センサ) に2台の ADAS によってディジタ ルデータ(サンプリングインターバル 0.8µs, ポイント数 32768)として取込み事後解析した.なお、計測装置の 都合上, 50kHz センサの信号を取込む ADAS は, 30kHz センサの信号 ADAS より信号処理速度が速いため,AE 検出数の絶対値での比較は困難であるので、腐食に起因 した信号とノイズの発生比率について議論をする.

計測は2004年12月8,9日で,計5回のAE計測を



Fig. 1 AE monitoring method for cylindrical storage tank with sensor layout.

行った. Table 1には、計測日時、気象条件、データ番 号,計測時間,センサタイプと設置場所,総イベント数 を示した。グレー部分は、アニュラー板張出し部にセン サを設置した場合である.たとえば、"No. 1-30"は、1回 目の計測の 30kHz センサのデータを意味する. No. 2の 2時間計測を除き、基本的には1時間の計測を行った。 このため, No. 2 における総 AE イベント数が多い. な お、"イベント"という表現は、ここではノイズも含んだ すべての AE を指している.8日は穏やかな曇りで低い ノイズレベルでAE計測ができたが、9日は風が強くAE 計測には不向きな日であった.風によるノイズは、トラ ンシーバーを用いてタンク周辺に配置した監視員と計測 車内要員とが連絡して,波形の特徴を PC 画面上でリア ルタイムで把握して事後解析の参考情報とした.9日に おける風はFig.1に示したタンクの右から左方向に吹く ことが多く、Ch.3 や Ch.11 のセンサを直撃しやすい.ま た、タンクに接続されたパイプからのノイズの有無を調 べるためパイプに軽衝撃を与えて AE を計測した. タンク に溶接されている配管上に音源を与えた場合にはAE が検 出されたが、フランジ締結された以降の配管に音源があ る場合には検出されなかった. すなわち, ガスケットはパ イプを伝搬する円筒波を遮断¹³⁾していることがわかった. また周辺では工事が行われ可聴作業音(金属音)が聞こ えたが、可聴音と同期した AE は検出されなかった.な お、今回はノイズの実体を調べるため風速の如何にかか わらずAE 計測を継続した.

3 AE 計測結果

3・1 AE の分類

事後解析として検出した波形のすべてを目視観察に よって有意な信号とノイズに分類した.その結果,検出 波形を5タイプ (Type-A, -B, -C, -D, -E) に分類できること がわかった.分類法や波形の特徴についてはあとで説明 するが, Type-A, -B, -C は有意な信号と判断した AE で, Type-D, -E はノイズに分類している.

| Date | 8, Dec | | | | | 9, Dec | | | | | | | |
|--------------------|-----------|------------|-----------------------------------------------|-----------|---------|---------|----------|---------|-----------|---------|--|--|--|
| Weather | Cloudy, I | Max.temp,: | Cloudy with shower, Max.temp.:10°C, 6m/s wind | | | | | | | | | | |
| Data Number | 1-30 | 1-50 | 2-30 | 2-50 | 3-30 | 3-50 | 4-30 | 4-50 | 5-30 | 5-50 | | | |
| Sensor Type | 30kHz | 50kHz | 30kHz | 50kHz | 30kHz | 50kHz | 30kHz | 50kHz | 30kHz | 50kHz | | | |
| Sensor location | annular | side wall | annular | side wall | annular | annular | side wal | annular | side wall | annular | | | |
| Start time | 12:15 | 12:15 | 14:13 | 14:13 | 8:56 | 8:56 | 10:40 | 10:40 | 11:41 | 11:41 | | | |
| End time | 13:15 | 13:15 | 16:13 | 16:13 | 9:56 | 9:56 | 11:40 | 11:40 | 12:51 | 12:51 | | | |
| Threshold, mV | 7.8 | 9 | 7.8 | 9 | 15.6 | 16 | 23.4 | 16 | 39.1 | 12.5 | | | |
| Total events | 94 | 293 | 309 | 1016 | 501 | 2152 | 719 | 1822 | 1221 | 2363 | | | |

Table 1Data Number and their detail with atmosphericcondition at the time of AE monitoring.

Fig. 2 は, アニュラー板張出し部に設置した 30kHz センサによる信号波形 (No. 2-30 の AE から選択)の一例である. このイベントは有意な信号として Type-A に分類した. 上段は各チャンネルの出力を並列に表示したもので初動波到達時間差から音源は Ch.1 と8のセンサの間に存在することを示している. アニュラー板張出し部に設置したセンサでは, AE は底板を伝搬するラム波として検出されるため,⁹その持続時間が長くなる. 2次元の AE 音源位置標定では,最低 3 個のセンサによる AE 波の到達時間差が必要になるが, Type-A ではすべてのチャンネルの初動波到達時間を読取ることができるため,様々なセンサの組合わせを用いた位置標定が可能で,標定位置の確かさが検討できる.⁸なお波形分類は, アニュラー板張出し部に設置したセンサの出力について行うが, これらの特徴はおおむね側壁センサについても観察された.

Fig. 3 は, Type-B 信号の一例(No. 2-30 から選択) である. Type-B は 4 個~7 個のチャンネルのセンサが信 号を検出できた場合である.図には信号成分が観察され た Ch.1 ~ Ch.4 の波形のみを示した.Type-B は, Type-A に較べて振幅が低く,信号を検出できたチャンネル数が 少ないことから規模の小さな錆破壊に対応すると思われ るが,音源位置標定は可能である.しかし,Type-A 信号 に比べて標定位置の確かさを議論するには制約がある.



Fig. 2 Waveform for the signal AE classified as the Type-A.



Fig. 3 Example of signal AE classified as the Type-B.

Fig. 4に Type-C 信号の Ch.1 ~ Ch.4 の波形のみを示 した.隣接した3個のセンサ (Ch.1, 2, 3)のみが信号成分 を検出しており初動波到達時間が読み取れるが,振幅は 大きく異なっている. このタイプの AE は,アニュラー 板で発生した信号である可能性が高い.¹⁴⁾予想される AE 音源位置は, Ch.2 と Ch.3 センサの間で, Ch.2 の近くに ある.初動部には,矢印で示したように振幅の小さな対 称モード (S₀)成分が観察されているのもアニュラー板に 音源をもつ AE の特徴である.¹⁴⁾なお,音源がセンサに近 い場合には,S₀モードと A₀モードの到達時間は接近す るので,S₀モード波は識別しにくくなる.

Fig. 5に Type-D ノイズの Ch.1 ~ Ch.4 の波形を示 す. Type-D は単独のチャンネルのみが振幅の大きな AE 波を検出している. 音源位置標定ができないことからノ イズに分類したが, 音源の物理現象を検証するため, 明 らかに風によるノイズと判断した Type-E イベント(波 形については後述)との発生タイミングと増加率を調べ た. 結果を Fig. 6 に示す. Fig. 6 は No. 2-30 のデータで あるが, アニュラー板に設置したセンサが検出した風に よるノイズ (Type-E で太い実線)と Type-D の累積数を 示している. 縦長の楕円で囲まれている時刻では, 風に よるノイズ (Type-E) のイベント数が急増しているが, 同時に Type-D のイベント数も上昇している. 特に Ch.3 のイベント数変化(□)と風によるノイズのイベント数



Fig. 4 Example of signal AE classified as the Type-C.



Fig. 5 Example of waveform of the noise classified as the Type-D.



Fig. 6 Time transient of cumulative counts of Type-D events and Type-E wind noise. Note : rapid simultaneous increase of both Type D and Type E wind noise.

変化がよく一致している.一方,270°方向に設置したセンサ(Ch.7)のイベント数は少なく,Ch.8,9のセンサでは Type-Dのノイズを検出していない.また,今回の計測では、風はFig.1に示したタンクの90°方向(Ch.3)から 270°方向に抜けていたことを考慮すると,Type-Dのノ イズは風による何らかの影響を受けていると思われる. しかし、風によってこのようなパルス状のノイズが発生 するメカニズムについては不明であり、今後さらに検討 する必要がある.しかし、HPIS方式ではこのような突発 型のAE は有意な信号として扱われる可能性がある.

次に,明らかに風によるノイズと判断された波形を Type-Eとして Fig. 7 に示した.全チャンネルが連続的

| 0.04 0.02 0.02 0.02 | Ch.1 | | | c | Ch.2 | | | Ch.3 | | | Ch.4 | | |
|------------------------------|------|----|----|---|------|------------|------------|----------|----|---|------|----|--|
| U -0.04 |) | 10 | 20 | 0 | 10 | 20 Time | 0 ms | 10 | 20 | 0 | 10 | 20 | |
| tho 0.04 0.02 0.02 | Ch.5 | | | C | Ch.6 | | | Ch.7 | | | Ch.8 | | |
| Ō0.04 | 0 | 10 | 20 | 0 | 10 | 20 Tin | 0 ne, n | 10 ns | 20 | 0 | 10 | 20 | |

Fig. 7 Example of wind noise classified as Type-E.

な波動であり,到達時間は読み取れない.図に示したノ イズの振幅は,Fig.3のTypeA信号の1/2~1/3程度 である.このようなノイズは,しきい値を上げれば削除 できるが,振幅の小さな有意な信号を取りこぼす恐れも ある.しかし,波形は錆の破壊から発生した有意なAE とはかなり異なる特徴を有していることから波形解析を 行えば十分除去が可能であると思われる.

Table 2 に信号と判断されたタイプ別 (Type-A, B, C) イ ベント数を示す.8日の No.2データでは,音源位置標 定のできた Type-A 信号を多く検出しているが,9日 (No. 3,4,5)の計測では音源位置標定ができる AE はほとんど ない.AE は腐食の活性度によって異なることからすべ ての計測時に同じような傾向で発生するとは限らない. しかし,No.2の計測時は微風のためノイズが少なかっ たため有意な信号を多く検出できたと思われる.

Fig. 8 には5 回の AE 計測における信号とノイズの割合 を棒グラフに示した. AE イベントは,有意な信号 (corrosion-AE, Type-A, -B, -C),風によるノイズ (Wind noise, Type-E), その他のノイズ (Other noises, Type-D) に分類 した. 概ね次のことが言える.

- ① AE の音源位置標定ができた信号は、風の弱い8日に アニュラー板張出し部に設置した 30kHz センサを用 いた No. 1-30, 2-30 で検出でき、信号数の総イベン ト数に対する割合は 35% (No. 1-30) から 52% (No. 2-30) であった. 一方、側壁に設置した 50kHz センサ の場合は 7.8% (No. 1-50) から 7.2% (No. 2-50) であっ た. また、アニュラー板張り出し部に設置したセン サのしきい値は 7.8mV であり、側壁に設置したセン サより約 13% 低く、風の影響を受けにくかった.
- ② 9日 (データ番号 No. 3, 4, 5)の気温は8日よりも 5℃以上も低く, No. 4, 5の計測時には瞬間 6m/sの

Table 2 Classification of total AE signals into three signal types.

| Date | 8, Dec. | | | | 9, Dec. | | | | | | |
|----------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|---------|----------|---------|-----------|---------|--|
| Data No | 1-30 | 1-50 | 2-30 | 2-50 | 3-30 | 3-50 | 4-30 | 4-50 | 5-30 | 5-50 | |
| senor location | annular | side wall | annular | side-wall | annular | annular | side-wal | annular | side-wall | annular | |
| Total Events | 33 | 23 | 159 | 73 | 44 | 27 | 4 | 16 | 9 | 8 | |
| Type-A signal | 26 | 9 | 96 | 52 | 13 | 6 | 1 | 0 | 1 | 2 | |
| Type-B signal | 3 | 9 | 41 | 3 | 9 | 3 | 2 | 3 | 7 | 5 | |
| Type-C signal | 4 | 5 | 22 | 18 | 22 | 18 | 1 | 13 | 1 | 1 | |





風が吹いた. このためしきい値をかなり高く設定し たが,計測された AE イベントのほとんどは風による ノイズであった. つまり,風の強い日は風によるノイ ズの計測を行って,大事な信号を取りこぼしてしま うという問題がある.

AE 計測における障害のひとつは風であるが、HPISの 技術指針では,風の影響は 4m/s 以上で現れ,6m/s 以上 で高いAE ヒット計数を示すとしているが、風速計の位置 によってはタンク周辺の風の状況と異なることも指摘され ており、風速に対する明確な計測指針(制限)は示され ていない. また, 技術指針では風によるノイズは事後処理 では除去しずらいとしている。今回も風の強かった2日 目の測定では、検出総イベント数は2152 (No. 3-50) か ら1822 (No. 4-50) と1日目に比較してかなり多く, No. 5 では2363 イベントに達していた. しかし, イベントのほ とんどはノイズであり、信号/総イベント数の割合は、わ ずか 1.2% から 0.34% と極めて低かった。つまり、沿岸地 帯に多くのタンクをもつ本邦では微風の日は限られてい るので計測機会や計測時間が大幅に制限される。この問 題を克服するには、ノイズを除去するような信号処理技 術の開発や光ファイバなど半永久的に設置できる安価な 防爆センサと遠隔地(オペレーションセンター)での計 測ができる小型の計測装置を用いて連続的に長期間計測 し,同じ様な条件でノイズの少ない日のデータを多く取 得する技術を開発する必要がある.前者はソフト,後者 は新しいハードの開発が必要になるが, AE が現場技術 として使用されるためには両者とも解決すべき問題であ ると思われる.

3・2 AE 検出頻度に及ぼすセンサ共振周波数の検討

No. 3-30 と No. 3-50 のデータは,いずれのセンサもア ニュラー板の張出し部に設置しているのでどちらのセン サがタンク検査に適しているのかを調べた.Table 1 か ら 50kHz センサの方が多くのイベント(2152 個)を検出 しているが,Type-E に分類されたノイズの数も 2011 個で 圧倒的に多い.一方,風によるノイズの数は,No. 3-30 では 160 個,No. 3-50 では 114 個でほぼ同じである.音 源位置標定に有用な Type-A の信号数は,Table 2 から 30kHz センサが 44 個,50kHz センサが 27 個である.オ イルサンドと接する重ね溶接底板を伝搬する AE 波の減 衰は高周波数ほど大きいので,30kHz センサの方が多く の有意な信号を検出したものと思われる.現場装置に対 する AE による腐食箇所の同定においては,錆破壊によ る有意な信号を正しく検出する必要はある.

3・3 センサ設置位置とセンサタイプの検討

センサをアニュラー板張出し部と側壁に設置したとき の信号の検出感度や検出頻度の比較は、今回の結果では センサの共振周波数が異なるので簡単にはできない.ま た No. 4,5 では、センサ種類とその設置場所を No. 1,2 の場合と取替えて計測したが、No. 4,5 の計測時には風 が強かったので単純に検出信号数の比較ができなかった. しかし、風のおだやかな No. 2 データの計測時では、ア ニュラー板の張出し部に設置した 30kHz センサの検出信 号数は159で、側壁に設置したセンサ(50kHz)の約2倍 に近い. No.3のデータでは、アニュラー板張出し部に設 置した50kHz センサによる総検出イベント(2152個)は、 30kHz センサのそれ(501個)よりも多いが、その多くは Type-Dノイズであった.Type-Dは、しきい値レベルだけ を用いて信号とノイズを判定する場合には、有意な信号 (位置標定に使用できない信号であるにもかかわらず)と 判定されるので50kHz センサにはやや問題があると思わ れる.従って、有意な信号は3個以上のセンサ出力の初 動波到達時間が読み出せる程度のS/N比があり、それら の到達時間差からタンク底板内に位置標定されたものと 定義することができる。

今回の計測ではセンサの設置位置の影響については十 分なデータは得られなかったので,検出波を比較した. 波形の比較は、どの伝搬モードの波動がどのような経路 で伝搬しているかを特定し、音源位置標定を正確に行う ために大事である. できるだけ多くの波形を例にあげて 比較した方がよいが、紙面の都合で代表的な1例のみを 取りあげて議論する. No. 2 データ計測時にアニュラー 板張り出し部に設置したセンサと側壁に設置したセンサ が同時刻に検出した信号波形1組をFig.9と10に示し た. Fig. 9は、アニュラー板張出し部に設置した 30kHz センサによって検出された AE で、その伝搬モードはラ ム波である. Ch.6,7のセンサからの出力が小さいが, Ch.2, 3, 4, 5のそれは 0.1V を超えており, かなり大き い. ラム波は分散性波動ため AE 音源位置標定に使用す る伝搬速度は、センサの共振周波数(Fig. 9の場合 30kHz)に対応した速度として一義的に決定することが できる.15)すなわち、アニュラー板張出し部に設置したセ ンサの場合には、AEの伝搬経路や伝搬速度が決まって









いるので標定精度はセンサの組合せと到達時間読取り誤 差のみに依存する。一方、側壁に設置したセンサ (50kHz) においても Fig. 10 に示すような分散性の AE を検出している。HPISの技術指針では、側壁に設置し たセンサは底板で発生した腐食損傷からの AE をタンク 内部の液中を伝搬した縦波として検出するとしている. つまり,AE の伝搬経路は発生源から検出点までを最短 距離で液体中を伝搬するとしている. この場合 AE は液 中縦波として伝播するため分散性波動となることは考え にくく、比較的持続時間の短い AE となることが予想さ れるが実際は Fig. 10 に示すように異なる場合も多かっ た、つまり、側壁に設置したセンサでは、実際にはかな り複雑な経路を伝搬した AE 波を検出している ^{5), 16), 17)} ことが確認された. Fig. 11 には Fig. 9と10 における ch.2 と ch.8 (両方とも 45°の位置に設置したセンサ)の ウェーブレット変換によって得られた時間一周波数平面 上での振幅分布を示す. 色が濃い領域ほど振幅が大きい ことを示している. センサの共振周波数が ch.2 では 30kHz, ch.8 では 50kHz であるため振幅が大きい(色が 濃い)周波数帯は、センサの共振周波数に依存している が、波形の持続時間はほぼ同じ程度であることが分かる。 また Fig. 9と10に示した両者の波形がよく似ているこ とから、側壁に設置したセンサであっても底板から側壁に 伝播したラム波を AE として検出している可能性が高く, 正確な位置標定が難しいことを示していると思われる.

4 結

論

直径 20m のナフサ貯蔵円筒タンク底板の腐食による AE を側壁とアニュラー板張出し部に設置した 8 個のセンサ (共振周波数 30kHz と 50kHz)を用いて 2 日間に渡って計 測した.センサ設置場所や共振周波数による AE 検出能 を比較するとともに、すべての検出波形を目視で観察し、 その特徴からノイズと有意な信号(錆破壊による AE)の 区別を行った.得られた結果は以下のように要約される.

(1) 屋外タンクに対する AE 計測では風の影響が極め て大きく,最大風速 6m/s になると AE 信号はほとんど 検出できず,風によるノイズを計測していた. AE 計測 が可能な最大風速についての知見は得られなかったが, 風速 1.5m/s のときでさえ,有意な信号の全検出イベン トに占める割合は 50% 以下であった.

(2) 風によるノイズは連続 AE 波の特徴を有している ので,波形の目視観察では突発型の AE 信号と区別をす



Fig. 11 Contour maps of wavelet coefficients of ch.2 in fig. 8 and ch.10 in fig. 9.

ることができる.しかし,一つのチャンネルのみが突発型 AE を示すノイズもあるので,これらを有意な信号に カウントすると膨大な AE 数になる.

(3) 有意な信号は,三つのチャンネル以上で初動波到 達時間を抽出できる程度の S/N 比をもった AE と定義で き,それらの到達時間差から位置標定が可能なものとし て選択できる.

(4) アニュラー板の張出し部に設置したセンサでの検 出波形は,底板を伝搬するラム波として検出されること から音源位置標定に必要な伝搬速度を一義的に決定でき る.一方,側壁に設置したセンサの出力波形は,アニュ ラー板張出し部に設置したセンサの出力波形と良く似て いるものがあることから側壁に設置したセンサであって も底板から側壁に伝搬したラム波をAEとして検出して いる可能性があることが確認された.したがって,液体 中を伝搬してくるAE波として音源の位置標定を行うと 大きな誤差を生む可能性があることがわかった.

本研究の一部は,21世紀 COE プログラム,先端技術 研究センター,私立大学連盟学術研究資金のよってなさ れたことを記して感謝する.また,本研究は石油連盟と 石油産業技術研究所の共同研究として行われた.

参考文献

- P. T. Cole and P. J. Van de Loo, "Listen to Your Storage Tanks to Improve Safety and Reduce Cost", Acoustic Emission Beyond the Millenium, edt. by T. Kishi, M. Ohtsu and S. Yuyama, Elsevier, pp.169-178 (2000).
- 2) M. Yamada, S. Kitsukawa, S. Yuyama, A. Kamiya, K. Sekine and H. Maruyama, "Evaluation of corrosion damage of bottom plate of oil storage tank by acoustic emission", Journal of High Pressure Institute of Japan, Vol.40, No.4, pp.222-227 (2002).
- 3) High pressure institute of Japan, "Recommended practice for acoustic emission evaluation of corrosion damage in bottom plate of oil storage tanks HPIS G 110TR" (2005).
- 4) M. Takemoto, "Acoustic emission during growth and fracture of atmospheric rust on steel", Zairyo-to-Kanko, Vol.51, No.6, pp.256-261 (2002).
- 5) T. Sogabe, K. Matsuura and M. Takemoto, "Monitoring and source location of acoustic emission from atmospheric corrosion of water-storage cylindrical tank bottom plate exposed to outdoor weathering", Journal of the Japanese Society for Non-destructive Inspection, Vol.53, No.1, pp.35-39 (2004).
- 6) Press release from Fire and Disaster Management Agency, "Kikenbutsu-sisetu ni kansuru fushoku to rekka hyouka shuhou no kaihatsu dounyu kankyou seibi ni kakawaru chousa kentou houkokusho", http://www.fdma.go.jp/neuter/ topics/houdou/190502-1/190427-2houdou.pdf (2007).
- 7) H. Cho, M. Takemoto, A. Yonezu, R. Ikeda, H. Suzuki and M. Nakano, "Detection and source location of Lamb wave AEs from floor plate corrosion of an Oil storage tank-

Source location accuracy of artificial sources", Journal of the Japanese Society for Non-destructive Inspection, Vol.54, No.5, pp.259-264 (2005).

- 8) H. Cho, A. Yonezu, G. Watanabe, M. Takemoto and H. Suzuki, "Location of floor plate corrosion of a storage tank by acoustic emission", Journal of the Japanese Society for Non-destructive Inspection, Vol.56, No.11, pp.582-588 (2007).
- H. Cho, T. Matsuo and M. Takemoto, "Corrosion monitoring of cylindrical storage tank by acoustic emission", Meintenology, Vol.6, No.4, pp.31-37 (2008).
- S. Yuyama, Z. Li, M. Yamada, K. Sekine, S Kitsukawa, H. Maruyama and S. Konno, "Noise analysis for acoustic emission evaluation of floor conditions in above-ground tank", Journal of the Japanese Society for Non-destructive Inspection, Vol.53, No.11, pp.693-704 (2004).
- Z. Li, S. Yuyama and M. Yamada, "Case histories for AE evaluation of corrosion damage in bottom plate of above ground tank", 2005 National Conference on Acoustic Emission, pp.79-84 (2005).
- 12) H. Nakasa and H. Sasaki, "Long-Term continuous monitoring of structural integrity of steel storage tanks", Progress in Acoustic Emission IX, Acoustic Emission Working Group and Acoustic Emission Group, pp.I25-I34 (1998).

- 13) H. Cho, R. Arai, H. Suzuki and M. Takemoto, "Development of stabilized and highly sensitive optical fiber acoustic emission monitoring system and its application for leakage detection", Journal of the Japanese Society for Non-destructive Inspection, Vol.53, No.11, pp.709-714 (2004).
- 14) H. Cho, M. Takemoto, A. Yonezu, R. Ikeda, H. Suzuki and M. Nakaso, "Detection and source location of Lamb wave AEs from floor plate corrosion of an Oil storage tank –Correspondence with wall reduction by ultrasonic test–", Journal of the Japanese Society for Non-destructive Inspection, Vol.54, No.5, pp.318-323 (2005).
- M. Takemoto, T. Sogabe, K. Matsuura and K. Ono, "Acoustic Emission from the rust fracture of atmospheric rust", Journal of Acoustic Emission, Vol.21, pp.120-130 (2003).
- A. Kaneko and M. Takemoto, "AE propagation behaviorina liquid-loding cylindrical tank", Journal of the Japanese Society for Non-destructive Inspection, Vol.51, No.11, pp.718-725 (2002).
- 17) H. Yamada, T. Aihara, Y. Mizutani, H. Nishino and M. Takemoto, "Acoustic emission source location analysis in tank bottom testing –An experimentally study using a model tank–", Journal of the Japanese Society for Non-destructive Inspection, Vol.51, No.2, pp.105-110 (2002).