

## 高速AE測定システム AMSY-5 の特徴

中村 英之 \*      滝沢 宣人 \*\*

Hideyuki Nakamura      Nobuhito Takizawa

荒川 敬弘 \*\*\*

Takahiro Arakawa

### 1. はじめに

国内における構造物も長寿命化の時代を向かえ、保全コストの増大が懸念されてきている。このため、より合理的な保全手法が国内でも強く求められてきている。

一方、平均で10年から20年構造物の老齢化がより進んでいるとされる欧米においては、古くから保全にリスクの概念を取り入れたRBI (Risk-Based Inspection) などの合理的保全手法が議論され、構造物の保全へ適用されてきている。また、検査においても、種々のグローバル検査が用いられ、構造物の損傷の有無を経済的に確認する手法が積極的に取り入れられてきている。

亀裂進展時などの構造物の損傷進行時に発生する弾性波を受信して、構造物の損傷の有無を評価するAE (Acoustic Emission) 技術においても、国内では古くから大きな期待が寄せられ、検討されてきたものの、実構造物に適用された例は、比較的少ない。一方、欧米においては、国内に比べてはるかに多くの構造物への適用事例があり、保全に合理的に活用されてきている。

例えば、重油タンクなどの貯槽の保全においては、国内では定期的に内部を開放して実施する検

査が行われているのに対し、欧米では重油などを貯蔵したまま、タンクの外周にAEセンサを張り巡らせて、底板の腐食状況を監視する稼動中検査が適用されている。時には約半年も要して、内部の重油などの除去、低部に残留したスラッジの除去、底板溶接部の塗装の除去、検査、復旧などの工程を経る保全手法に比べて極めて経済的である。

この他にも、AEは航空機、圧力容器、橋梁、などへの多くの適用事例が報告されており、FRP容器・機器や圧力容器などは公的な規制の下にAE検査が義務付けられている例も多い<sup>(1)(2)</sup>。

近年、欧米で急激にAE適用事例が増加しているのは、構造物の老齢化に伴うニーズの増大の他に、AE装置の急激な進歩が特に注目される。AE計測では、一般に微弱な信号を取り込んで評価するために、時には発生するノイズによって信号がかき消される恐れがある。

従来のAE計測では、一般に信号採取時に周波数フィルタを用いて、予測される信号周辺の周波数帯域の信号を取り込み、信号の大きさ、信号の発生頻度や信号の発生位置の標定などをベースに評価してきた。しかし、信号の持つ周波数帯においても同一の周波数帯域のノイズが発生する場合もあり、適用時の課題となっていた。

\* 技術研究所 次長

\*\* 研究開発事業部 研究支援部 生産技術G

\*\*\* 技術研究所 所長 工学博士

一方、近年のコンピュータ技術の進歩は目覚しく、より多くのAE事象を、AE波形と共に取り込み、ポスト処理で信号とノイズの識別を評価できるようになった。また、評価のためのツールも拡充されてきている。

当社は、これらの状況に鑑み、最も進化したAE装置を開発している欧州のVallen-Systeme社（ドイツ）と提携し、最新のAE装置AMSY-5の国内販売を開始した。同時に、国内でのより多くのAE普及を目指し、AE適用のための種々の試験・検討を行っている。本報告では、AMSY-5の特長を紹介すると共に、AE適用のための試験の一部を紹介する。

## 2. AMSY-5の概要

Vallen-Systeme社のAMSY-5は、Windows 95/98/2000/NT/XP上で動作でき、多くの特長を持っている。代表的なものとしては以下をあげることができる。

- (1) 高速データ処理
- (2) 多彩な支援ツールと自在な拡張性
- (3) 優れた操作性

図1に、16チャンネルのAE装置AMSY-5の外観を示す。本体の向かって右側には、16個のASIPP（Acoustic Signal Preprocessor）ボードが取り付けられている。1枚のボードは、一つのAEセンサに対応する。各パネルには、それぞれ2つのBNC接続部と、4つのLEDが取り付けられている。

2つのBNC接続によって、一つのAEセンサからの信号を、2つのASIPPボードによって解析することもできる。LEDは、装置の動作状況を示しており、しきい値を超えた信号を受信している状態、プリアンプが接続されていない状態、プリアンプが断線している状態や自動キャリブレーションモードにあってパルスを送信している状態を指し示す。



図1 AMSY-5外観

ASIPPの右隣には、AMSY-5-SFボードが取り付けられている。4つのBNC接続部を通して、4つの独立の外部パラメータを取り込むことができる。例えば、荷重、圧力、温度、風力などのパラメータを取り込むことで、これらを関数とした解析が可能になる。

この他、オーディオ出力やメインスイッチなどのボードが収められている。

ASIPPで処理されたデータは、ASyCボードに送られ、データのセットに組み立てられる。図にはASyC（AE System Controller）ボードは見えおらず、パソコン内に組み込まれて（あるいは外付けされて）いる。データは一時的にここに貯蔵され、パソコンの採取プログラムによって制御され、パソコンにデータが転送される。パソコンでは、取り込まれたデータを、各種の支援ツールを用いて解析し、表示すると共に、書類化のためのソフトが準備されている。

## 3. AMSY-5の特長

### 3.1 高速データ処理

各AEセンサから送られた信号は、各ASIPPにおいて、ヒットは例えば15,000 AE Hits/sで、また

波形データは5,000波形/sで処理する能力を持っている。また、ヒットを30,000 AE Hits/s以上の高速でハードディスクにデータを書き込み、波形では2.5 Mbyte/sの高速でデータを書き込む能力を持っている。この高速のデータ処理技術によって、忠実に発生するAE波形を取り込み、試験後に詳細にデータを解析・評価することを可能にしている(処理速度は取り込み条件による)。

図2は岩石の破壊時におけるAE計測データにて、いかに本装置が高速でデータ処理を実現しているかを表している。

### 3.2 多彩な支援ツールと自在な拡張性

AE装置 AMSY-5には、多彩で巧みな各種支援ツールが準備されており、用途に応じてこれらを選択して最適なシステムとして提供することが可能である。

解析ソフトとしては、大きくは次の3つのプログラムがあり、この他、多くのユーティリティが準備されている。

#### 3.2.1 Visual AE:

ASIPPで抽出されたAE波形の、到達時間、ライズタイム、波形持続時間、最大振幅値、エネルギー、カウントなどの多くの特徴や、荷重、応力、圧力などの外部から取り込んだパラメータを用いて、二元系や三元系座標として、複数のグラフを

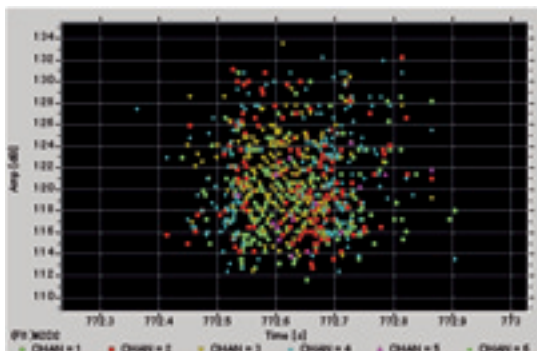


図2 岩石の破壊時のAE計測例(光学式AEセンサ)  
(資料提供:鹿島建設(株)/ (株)レーザック)

同一シートに、あるいは複数のシートに渡り表示させるプログラムである。なお、表示に当たっては、特定の範囲のみを抽出したり、範囲別に種類を分類するなどのフィルタリングも容易にセットできる。また、平板のみならず、球体、円柱や立体位置標定などの多彩な位置標定プログラムと連携して表示することも可能である。

図3は疲労試験において、Hit数、時間及び周波数を因子として三元系表示した例を示している。これら解析によって、損傷と最も関係深いAE特長を絞り込んでいくことが可能である。

#### 3.2.2 VisualTR

この解析ソフトは、採取した波形データを再現し、周波数特性を解析するものである。また、時間軸の情報を失うことなく周波数解析するウェブレット解析を活用することもできる。このソフトにおいて、採取したデータから、信号とノイズのそれぞれの特徴を把握することができる。

#### 3.3.3 VisualClass

二種類以上の音源を統計的に解析して自動的に分類するソフトである。それぞれの音源の代表的波形を取り出しておき、コンピュータで学習する

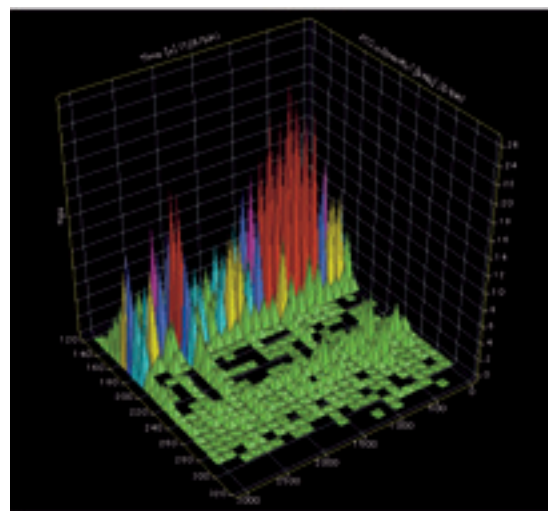


図3 疲労試験における3次元解析例

ことで、受信した信号がどの音源によるものかを自動判別することができる。

図4は、球体上で発生させたシャープペンシル圧折と鉄球衝突を音源とする2種類のAEを波形パターンにて識別し位置標定させた一例である。

### 3.3 優れた操作性

前項に述べたVisualAE、VisualTR、VisualClassはそれぞれ互いにリンクしている。図5にこれを模式的に示している。

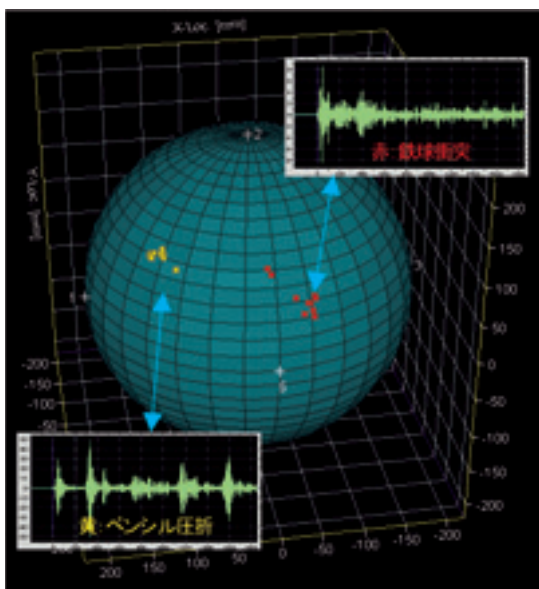


図4 波形パターンによる音源識別例

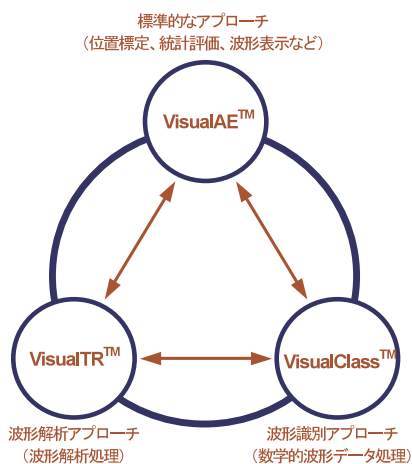


図5 Vallen Visual サークル

例えば、二元系（三元系）で表された各プロットをクリックすることで、波形データや数値データを直接に呼び出すことができる。

図6にCT試験片による疲労試験を行った際の適用事例の例を示している。図は、周波数と振幅値の関係を表示している。疲労き裂の初期における信号は、40 dB未満の微弱なものが多かった。このために、多くのノイズを同時に採取し、多数のAEヒットを記録した。この中から、応力とはランダムに発生するノイズ波形を抽出し、抽出した波形の特徴に基づいてフィルタリングを行うことで多くのノイズをデータから除外することができた。

また、外部パラメータも重要な因子として評価に用いることができる。CT試験片の疲労において、多くのノイズを除去した後のデータを、外部パラメータとして採取した応力を横軸にして、波形の最大振幅値との関係をプロットすると、図7が得られ、明らかに疲労サイクルの応力が最大値付近で一群のAE波形が得られていることがわかる。

応力サイクルの最大応力範囲（22～24 kN）でのヒット数を、時間経過と共にプロットすると、図8が得られる。図には同時にCT試験片の側面で観察した疲労き裂の進展量をも同時に示しているが、疲労き裂の進展が見られてからすぐにAE波が発生しているのがわかる。なお、変動応力の中

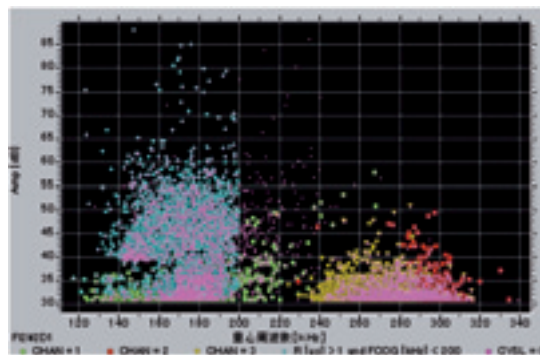


図6 疲労試験におけるノイズ識別例  
(青：ノイズと識別、ピンク：抜重中のAE)

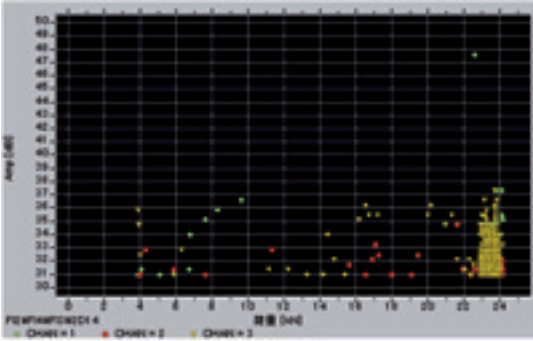


図7 荷重と振幅の関係（ノイズ除去後）

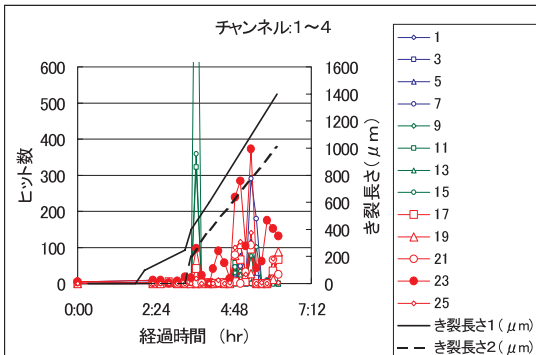


図8 疲労試験におけるAE計数

間付近で、途中高い振幅値のAE波が観察されているが、疲労き裂が試験片の片面にまず発生し、やがて両面でのき裂長さがほぼ等しくなることと発生時期が一致し、き裂面が擦れる音を記録したと考えられた。これに関しては今後も検証を進めていく。

なお、ここに示した解析は、簡単なツリー構造でユーザーが自在に構築できることも、本AE装置の大きな特徴の一つである。

ここでのツリーの構成は、データの取り込みのための設定名称、位置標定データの計算条件の設定、フィルタリングするためのプログラム及び画像表示のプログラム等により構成されている。ユーザーは、それぞれのプログラムを呼び出し、設定条件を入力し、順次ツリーを構成すればよく、容易に理解し、使いこなすことが可能である。図9にこの一例を示した。



図9 データ処理ツリー例

#### 4. まとめ

ここで紹介したように、Vallen-Systeme社のAE装置AMSY-5は、極めて高速のデータ採取を実現し、かつ独創的で斬新な解析プログラムを用いて、従来困難であったノイズの多い場合の損傷に伴うAE信号を抽出できる多くの可能性を持っている。今後、IHI/IICグループで実施する各種破壊試験などへの適用を進めて解析技術を修得すると共に、この優れた特徴の紹介と日本社会でのAE普及を目指して努力していく所存であり、今後も多くの方々の助言をお願いしたく考えている。

#### 参考資料

- (1) ASME規格Sec.V、Article12「金属製容器の圧力テスト中におけるアコースティック・エミッション試験」
- (2) ASTM規格 E-1067-96「ガラス強化繊維（FRP）製タンク／容器のアコースティック・エミッション試験方法」