

「AE 計測技術の基礎－その 2」 AE 波伝播特性とデータ解析

中村 英之 ^{*1}
Nakamura Hideyuki

本稿は、前号に記載した「AE 計測技術の基礎－その 1」の続編として、データ採取時の詳細設定を説明し、AE 波の特徴を説明したうえで、位置標定を含む AE データ解析ソフト Visual AE の基本操作と基本的な解析手法を紹介する。

キーワード：AE、AE 計測、ラム波、データ解析、位置標定、Vallen、AMSY

1. はじめに

前号（56号）では、「ハードから計測条件の設定まで」をサブタイトルとし、アコースティック・エミッション（以下、AE と称す）計測で必要となる基礎的な知識として、AE 技術の概略、AE 測定原理と計測系の概念、AE 計測装置ハードウェア、および AE 計測条件の意味合いと設定方法について述べた。

本稿では、前号で書き残したデータ採取の詳細設定を述べたうえで、データ解析に必要な知識として AE 波の特徴と基本的な解析技術および AE データ解析ソフト（Visual AE）の基本操作を紹介する。

2. Trigger Mode の設定

図 1 は、AE 計測条件の設定メニューの中の「Acquisition Parameter Setup」を示しており、その

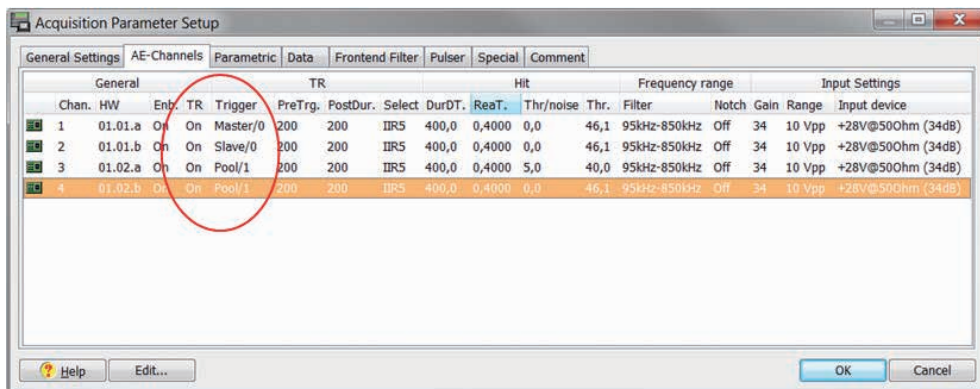


図 1 Acquisition Parameter Setup

*1：検査事業部 部長 博士（工学）

中の Trigger Mode の機能を説明する。Trigger Mode の設定は、**図 2** に示す AE-Channel Setup にて行い、あらかじめ定めたいしきい値を超える信号が Trigger となり AE 計測が開始される通常の計測では Normal を選択する。一方、複数のセンサによる Master & Slave Mode による計測では、Master として設定した Channel にしきい値を超える信号が到来すると、Master の Channel の計測が開始され、それを Trigger

として Slave として設定した Channel も、計測が開始される。なお、Trigger Mode を Pool に設定した場合には、最初に信号を拾った Pool の Channel が Master となり、他の Channel は全て Slave となる。これは伝播経路や AE 発生位置が不明で、初めに信号が到来する Channel の予測が難しい場合に有効である。

Master & Slave Mode での計測例を **図 3** に示す。

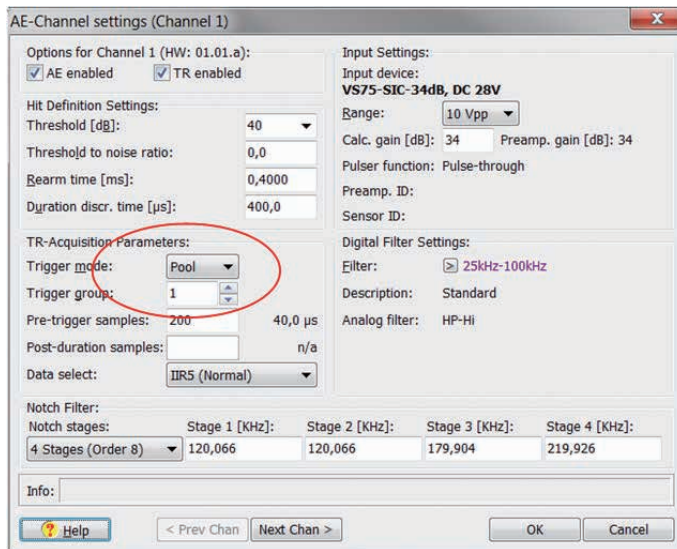


図 2 AE-Channel Setup

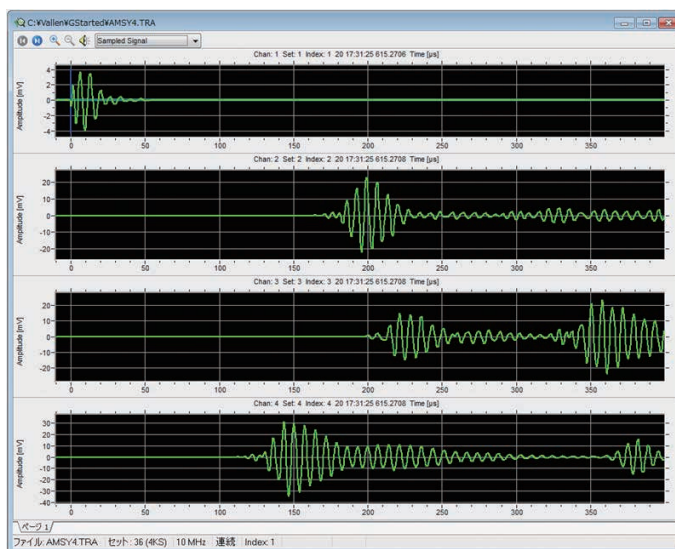


図 3 Master & Slave Mode での計測例

横軸は時間、縦軸は振幅を示している。Masterとして設定した Channel 1 に信号が到達すると、他の Channel も同時に計測を開始する。これにより、同じ時間軸上で波形を確認しながら信号の大きさ、到達順、および到達時間差などを比較でき、各センサへの AE 波の伝播経路や伝播モードの推定、さらに減衰特性の確認などが可能となる。

3. AE 波の特徴

AE 試験において、計測対象とする波は、試験対象や伝播経路によりモードが異なるため、どのようなモードの波を捉えているのかを知ったうえで、計測や解析を進めることが重要である。特に音源位置標定では、音速が標定精度に影響するため、実測で得られた音速値を用いることが望ましい。

材料中の音速は、モードにより異なるが、縦波や横波は、温度が一定ならば材質で音速が定まる。しかしながら、圧力容器や鉄鋼構造物のように板状のウォールを有する構造物では、AE 波はラム波（板波）として材料中を伝播する。このラム波

は、材質（縦波と横波）、板厚、周波数により音速が異なる⁽¹⁾。図4は、AE計測システム(AMSY)に付属するラム波の音速計算ソフトによる、板厚9mm鋼材の計算結果である。横軸は周波数、縦軸は音速を示している。図4よりラム波には、Aモード(Asymmetry)とSモード(Symmetry)があり、それぞれで0、1、2、3、、、と複数のモードがあり、それらの音速は周波数に依存し変化する。なお、ラム波には位相速度(Phase Velocity)と群速度(Group Velocity)があるが、AE計測では波そのものの到達時間が重要となることから通常は群速度を計算に用いる。SモードとAモードを比較した場合、Sモードは音速は早いが振幅値は小さく、Aモードは音速は遅いが振幅値は大きいという特徴がある。このため、試験対象物がある程度大きく、伝播過程で減衰が生じる場合には、S0モードは減衰してしきい値を超えることなく、A0モードの到達時にしきい値を超えることがある。このような場合には、A0モードの音速を用い、音源位置標定を計算する。

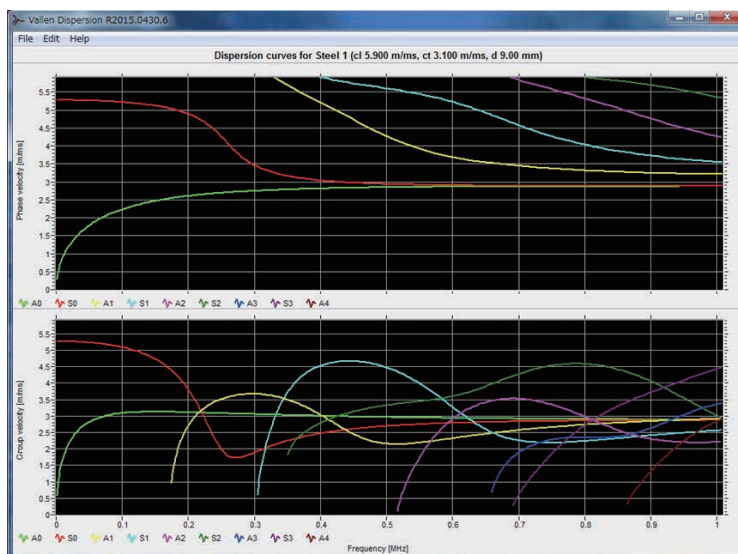


図4 板厚9mm鋼材の板波（ラム波）音速の計算結果
（上：位相速度（Phase Velocity）下：群速度（Group Velocity））

4. Visual AE の基本操作

(1) データ表示

Visual AE による基本的なデータ表示を図 5 に示す。図の左上は横軸が時間 (s)、縦軸が AE 波の最大振幅値 (dB) を示し、計測された AE 波の強度の時間変化を表している。図の右上は横軸が時間、縦軸は AE の活動度 [Hits (設定時間あたりに計測された AE 信号の数)] を示す。AE 計測では、

一塊の AE 波形を Hit と呼ぶ。これら左右二つの表示により、計測中にどの程度の強度の AE 波が、どの程度の頻度で計測されているのかを確認できる。図の左下は AE 波の波形、図の右下は周波数解析結果を示しており、計測された AE 波の形状と周波数分布を確認できる。

なお、これらのデータ表示は、図 6 に示す図のプロパティの設定メニューにて縦軸、横軸それぞれを任意に変更できる。

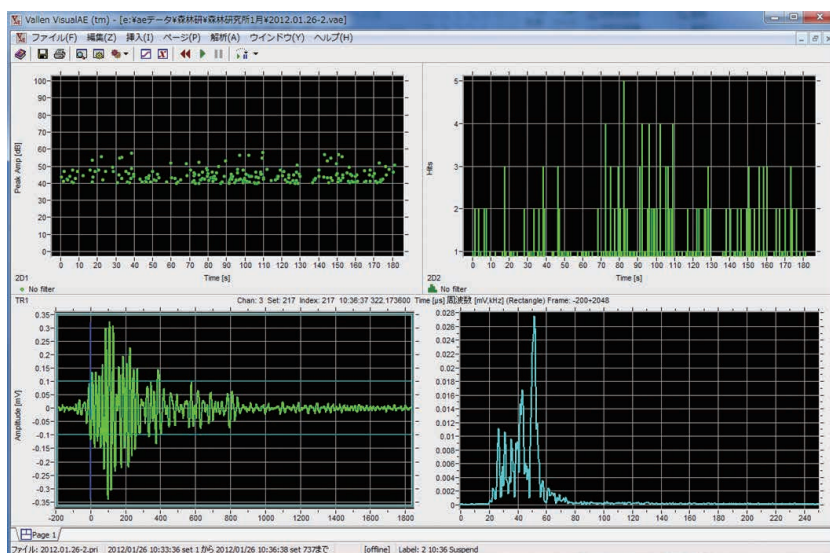


図 5 基本的なデータ表示

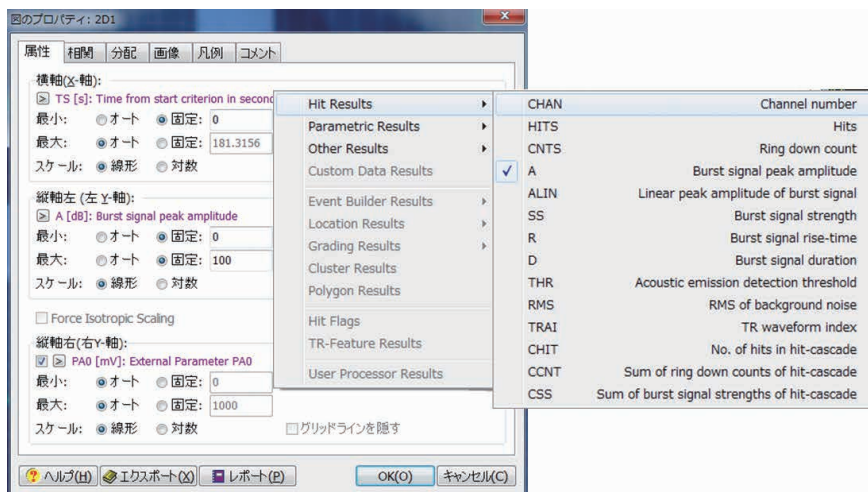


図 6 表示の設定メニュー

(2) フィルタリング表示

データ解析では、ノイズと有意信号を分別することが重要であり、この分別作業で使用するのがフィルタリングである。Visual AEには、データ表示のみにフィルタリングをかける方法と、データそのものにフィルタリングをかける二つの方法がある。両者とも設定機能や設定方法は同じである。データ表示のみのフィルタリングは、データの見やすさや識別性を高めるために使用する。例えば、

Channel ごとのプロットの色分け、波形データをもつものと波形を取りこぼしたデータの色分け、およびあるパラメータ範囲の色分けなどができる。図7に示すように、図のプロパティで設定メニューに入り、プロットやバーにフィルタリングの条件付けを行う。

一方、データにフィルタリングをかける場合には、図8に示すデータ構造ツリーに入り、フィルタを設置することで、下流のデータに反映される。

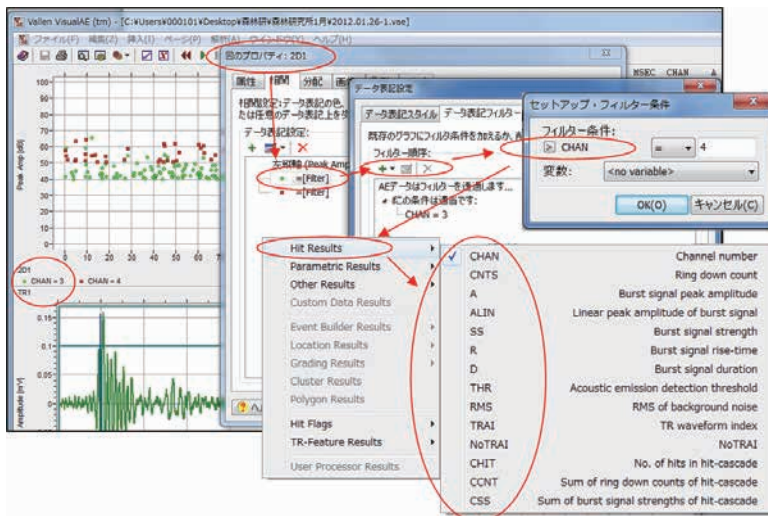


図7 表示フィルタの設定メニュー

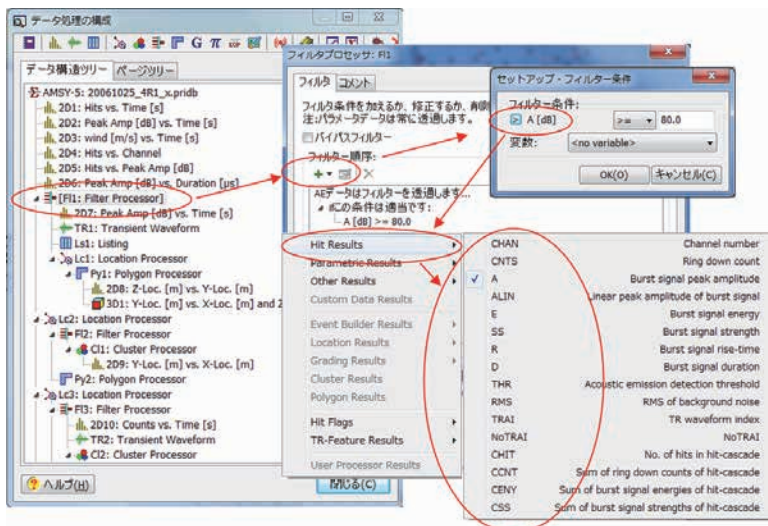


図8 データ構造ツリー中でのフィルタ設定メニュー

(3) 代表的なデータ表示例

AE パラメータデータについては前号で述べたが、その組み合わせでさまざまなトレンドを観察することができる。図 9 に代表的なデータ表示例を示す。左上の図は、横軸が重心周波数 (kHz)、縦軸が最大振幅値 (dB) であり、複数のノイズが混在する場合の分別や回転機器の損傷診断などに有効な表示パターンである。

右上の図は、横軸が最大振幅値 (dB)、縦軸が Hit 数の対数表示の逆累積である。この表示パターンはタンク AE 計測における、ノイズの混入状況の観察に有効である。有意信号のみの場合には、振幅値が大きくなるに従い Hit 数が均一に減少するため、しきい値の振幅値から最大となる振幅まで直線的な右肩下がりを示すが、優位信号以外の特定の振幅値のノイズが混入すると肩が膨らむ、または凹むようなトレンドを示す⁽²⁾。

左下の図は、横軸が波形持続時間 (μs)、縦軸が最大振幅値 (dB) の図である。このように AE 解析では、二つの AE パラメータの組み合わせを

変えながら、音源が異なるノイズと有意信号の分別を試みることも有効である。

右下の表は、リストデータであり、各パラメータ一覧を確認できる。例えばカウント数 (CNTS) が 1 の信号が多い場合には、電磁ノイズの影響が含まれるといった判断や、各センサへの到達順位の確認などに有効である。

(4) 音源位置標定 1 (イベントビルダー)

図 10 は、固定屋根式石油タンクの側板に 2 段で取り付けられたセンサによる音源位置標定結果を 3D 表示および 2D 表示で示し、その上にデータツリーを重ねて示している。データツリー中、LC1 (Location Processor) で示す位置計算処理があり、その下流に Py1 (Polygon Processor) で示すポリゴン処理を経て、2D、3D にて音源位置が表示されるのが確認できる。ポリゴン処理とは、任意の範囲で区切ったデータを分別する機能であり、この処理では 2D 図上でタンク底板からはみ出したプロットと内側のプロットを仕分けするために用いている。

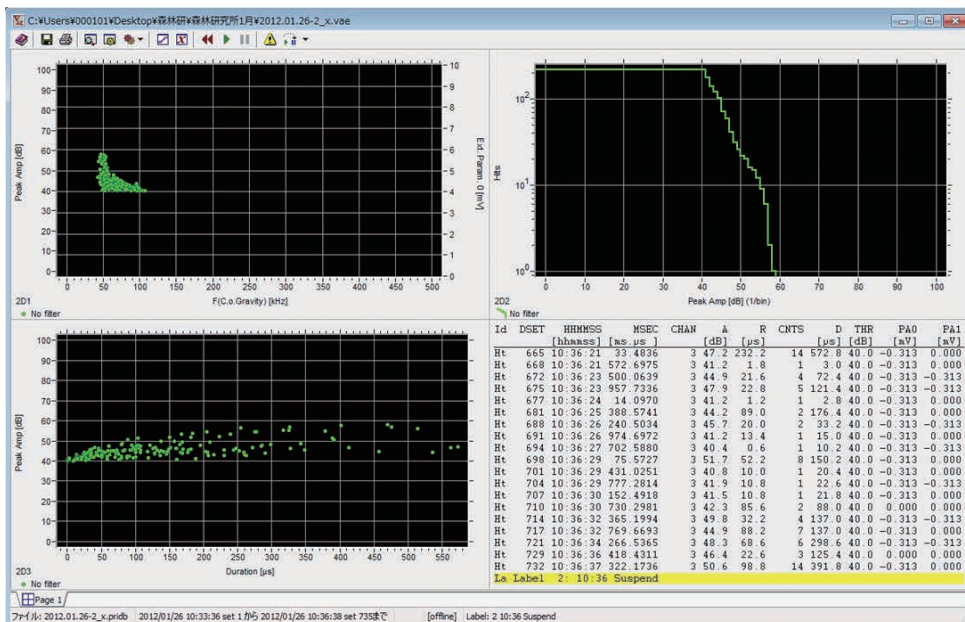


図 9 代表的なデータ表示例

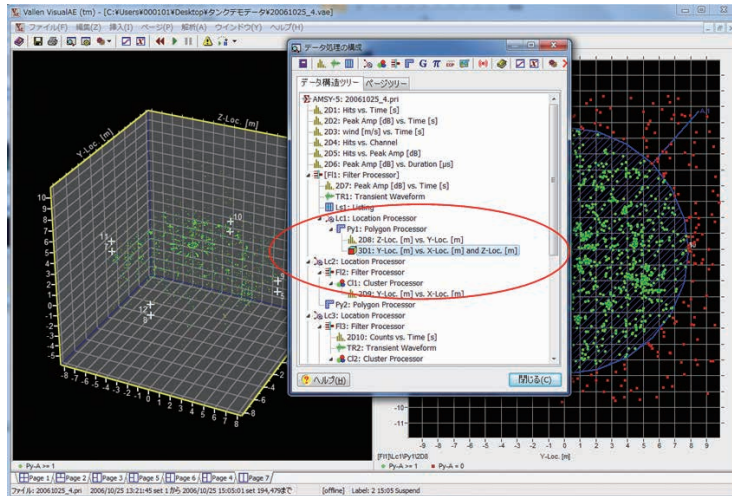


図 10 音源位置標定図とデータツリー

図 11 は、位置標定設定（イベントビルダー）の設定メニューを示す。イベントとは AE 事象を示す。一つの AE 事象が発生すると、AE 波は各方面に伝播し、それぞれのセンサに到達する。それぞれのセンサに到達した信号を、同一事象の AE と認識するための条件を与えるのがイベントビルダーである。条件付けでは、イベント構成にかかわるセンサの Channel 番号を指定し、さらにそのチャンネルの役割を Normal(通常的位置標定)、Guard (ガードセンサとして使用)、Combiner (ガードセンサとして使用しながら位置標定にも参加する)、Unused (使用しない) から選択する。ガードセンサは、ノイズ源に近い位置に配置され、ガードセンサとして設定した Channel がイベントの最初の信号 (First Hit) を受信した場合に、イベント自体をノイズと認識して除去するために用いられる。

イベントアセンブルタイム判定とは、同一イベントを構成するデータ (データセット) であることを見極めるための設定であり、以下の三つの時間条件を設定する。

- ①FHCDDT (First Hit Channel Discrimination Time) :
First Hit 識別時間はイベント間の識別に使用さ

れる。前に到来した Hit からの経過時間が FHCDDT より長い場合は、新たなイベントの First Hit となる。ただし、連続波などにおいてシステムの自動更新により再スタートした Hit (Artificial Hit/A フラッグ Hit) は First Hit になれず、位置標定計算にも使われない。

- ②DT1-Max (Maximum time difference between first hit and last hit of an event data set Defines the Time) :

一つのイベント内での最初と最後のヒット間の最大時間差。First Hit の後、DT1-Max の時間内に到来した Hit は、同一イベントと認識される。この時間を越えると、データセットは閉じられ、同一イベントにならない。

- ③DTNX-Max (Maximum time difference between two consecutive hits of an event data set) :

同一イベント内における前のヒットとの最大時間差。DTNX-Max 内に到来する Hit は同一イベントを構成する Hit となるが、ヒットが検出されないまま DTNX-Max の時間が経過するとデータセットは閉じられる。仮に DTIX-Max が終了せずとも、DTNX-Max が終了すれば、次の到来 Hit は同一イベントのデータにならない。

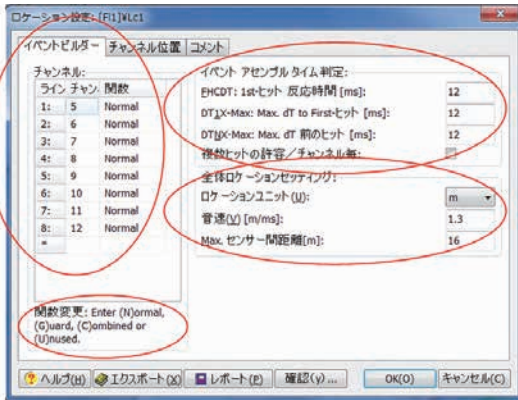


図 11 位置標定設定・イベントビルダー

なお、通常の設定では、最大センサ間距離と伝播速度から算出される最大到達時間差以上の時間を上記三つの設定値に与えることで、タイムアウトとなる Hit は無くなる。ただし、この時間を長くしすぎると反射波や伝播経路の異なる Hit がイベントの構成データに含まれるため、位置標定精度が低下することがあるので、適正な値にすることが肝要である。

位置標定全体の設定として、「単位」、「音速」、「最

大センサ間距離」がある。特に単位は、後からやり直すと他の値を再設定する必要が生じることから、最初を選択する。また、前述の①、②、③の設定時間と最大センサ間距離については次項に述べる Channel 位置設定にて決定される値に基づき行う。

(5) 音源位置標定 2 (Channel 位置設定)

図 12 に位置標定設定・Channel 位置設定を示す。まず位置標定のタイプを選択し、センサの座標を入力する。センサの座標を全て入力した後で「距離」ボタンをクリックするとセンサ間距離と伝播時間が表示される。ここで表示される距離を切り上げた値を前項の最大センサ間距離に入力し、伝播時間を切り上げ、前項の①、②、③に入力する。

以上を設定すると、データツリーに位置標定処理が反映される。

(6) 音源位置標定に表示

前項で位置標定条件の設定が完了したが、標定結果を表すには、Location Processor の下位に図を挿入する必要がある。図の挿入は、他のデータ

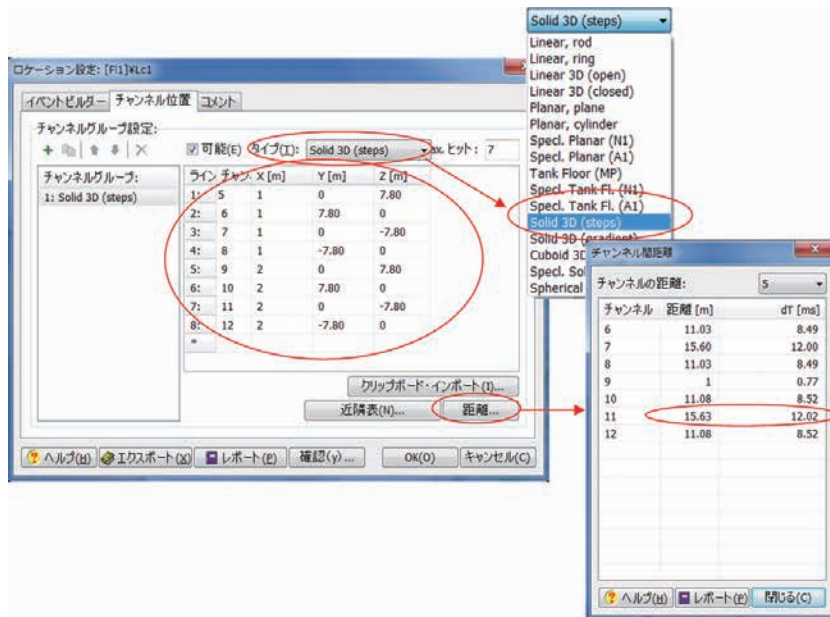


図 12 位置標定設定・Channel 位置設定

ラフと同様であり、軸の設定にて Location Result (位置標定計算結果) の各軸を指定する。

5. まとめ

本稿では、データ解析および音源位置標定の基本操作とそれらの処理に必要となる AE 波の伝播特性について説明した。AE 計測は、材料中に生じる AE 事象を検出すると言われるが、実際には AE 発生点から伝播しセンサに到達した AE 波を検出している。また、検出する AE 波は伝播過程での減衰や周波数の変化 (高い周波数成分は伝播過程で淘汰され、結果として低い周波数成分がセンサに到達する場合もある) があり、同一 AE 事象から伝播する信号でもモードの異なる複数の信号や反射波が存在する。そのため、AE データの解析では、伝播状況を十分考え、それらの変化を考慮したうえで解析することが重要である。次号では、ノイズの分別に有効な波形自動識別などについて説明する。

参考文献

- (1) 一般社団法人日本非破壊検査協会：アコースティック・エミッション試験 I、pp.8-11、2006
- (2) 一般社団法人日本高圧力技術協会：HPIS G 110 TR 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、pp.20-27、2005



検査事業部
部長
博士 (工学)
中村 英之

TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547