

多チャンネル AE 標定システム

Multi-channel AE-signal location system

尾上守夫*・山口楠雄*・市川初男*・嶋田淑男*・野口跡見*

Morio ONOE, Kusuo YAMAGUCHI, Hatsuo ICHIKAWA, Toshio SHIMADA and Atomi NOGUCHI

1. はじめに

原子炉、超高層ビル、マンモス・タンカーなどの巨大構造物は万一事故を起した場合の災害がきわめて大きいので事故を未然に防止するための極度の努力が要望される。これらの構造物は、設計のほかには使用材料の品質、施工の状態などによりその強度、安全性が大きく左右される場合が多い。そこで、これらの構造物の事故防止のためには、製作後あるいは一定期間毎に構造物全体の非破壊検査を行ない、微細な欠陥に至るまで検出し、欠陥の位置標定を行ない危険度の判定および必要な補修を行なうことが不可欠である。さらに、できれば動作状態あるいは使用中の構造物中の微細なわれの発生、進行などの欠陥の状況を常時監視し、破壊に至る以前に警報を発生し、適当な処置をとりうるようにするシステムが望まれる。

構造材料にストレスが加えられたとき、材料中のわれの進行にともなってパルス的に発生する音、すなわちアコースティック・エミッション (AE) 信号はこの目的のために使用できる。すなわち、構造物上に取付けた多数のセンサにより AE 信号を検出し、その到達時間差を測定することにより欠陥位置を標定することができ、この発生個所別の頻度などから危険度を判定できる。

AE による検査は、構造物全体を適当な間隔に置かれたセンサにより検査できることと、負荷状態での各部分のストレスに対する欠陥の危険度がわかるので巨大あるいは複雑な構造物の非破壊検査あるいはモニタリングにきわめて有望な方法である。

AE 標定について我国ではまだほとんどまとまった研究は行なわれていないが米国などにおいてはかなり実用的なシステムの例が発表されている。しかし AE 標定には検出端の取付け、AE 信号波の選択、標定のための情報処理、ディスプレイあるいは危険度の判定などについて対象により異なる場合が非常に多くあり、解決を要する問題が多い。

我々はこれまで AE についての米国などにおける調査を行なうとともに、AE 信号およびセンサについての研究を行ない、さらに 9 チャンネルの AE 信号到達時間差測定装置を製作し、ミニコンを含むオ

ンライン AE 標定システムの開発を行なってきた。これらの装置を用いて模擬 AE 源について実験を行ない、かなり良好な結果が得られたのでひとまず中間的な報告をしたい。

2. ハードウェア・システムの構成

AE 標定システムのハードウェアの構成を、図 1 に示す。シールドされた各センサは 10cm 程度のシールド線でプリアンプに接続される。プリアンプは利得 50 db、帯域 0.1~2.0 MHz の小形のもので 50 Ω の同軸ケーブルで標定システムの本体に接続される。フィルタは AE 信号波のモードの選択および雑音除去のためのもので通過帯域を変化できる。フィルタを通った信号は 10~50 db の可変利得メインアンプを経てレベルスライサに入る。レベルスライサのしきい値は約 10db の範囲で変化できる。

レベルスライサ出力は 2 値レベル信号であってこれが図 1 の時間差測定装置の入力となる。この時間差測定装置に入った 2 値の AE 信号は、まずモノステーブル・マルチ (MM) により一定幅 (約 5 μs) のパルスに変換される。1~9 の 9 個の入力の中で最初に信号の入ったチャンネルの順位を 1 とし、次々と信号を検出したチャンネルの順位が順位カウンタに記録される。これと同時間に順位 1 を 0 μs として順位 1 の信号から他のチャンネルに信号が到達するまでの時間差が時間カウンタに 1 μs の単位で記録される。時間カウンタは現在 10 ビットなので 1,023 μs 後に 1 回の測定を終了し、end 信号を発生する。もし、1,023 μs 以内であっても 9 チャンネル全部に信号が入れば測定は中止され end 信号が出される。この測定は CPU からの測定 START 信号とともに始まり測定 STOP 信号が来るまで継続される。この装置には動作チェック用の回路と各カウンタ内容の表示ランプが付属しており、人間が測定内容を読取ることができる。

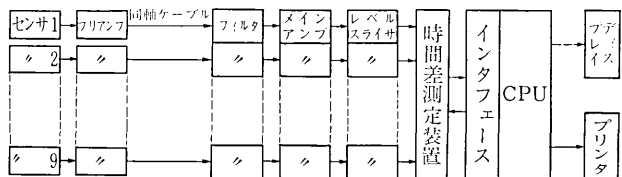


図 1 AE 標定システムのハードウェアの構成

* 東京大学生産技術研究所 第 3 部

研 究 速 報

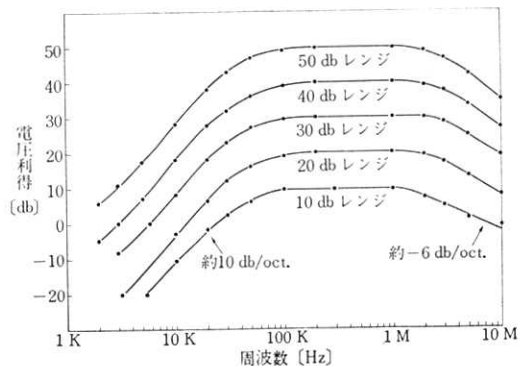


図 2 メイン・アンプの周波数特性

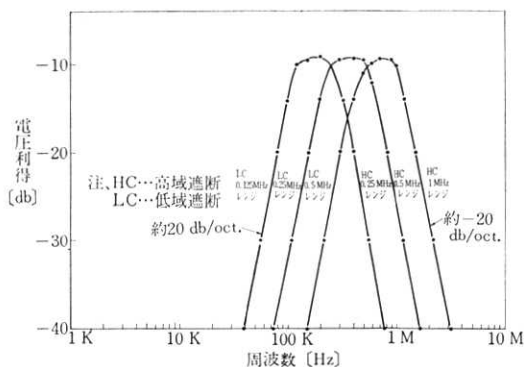


図 3 フィルタの周波数特性

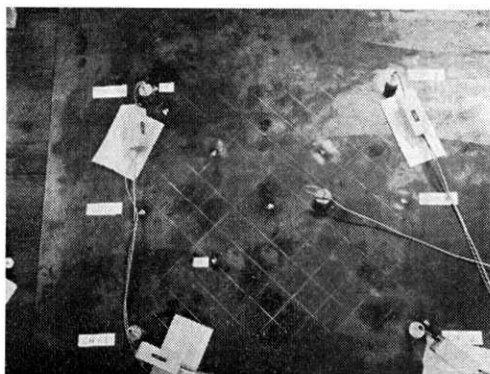


図 4 AE 標定の模擬装置

CPU は、FACOM U-200 (16KB) である。インタフェース装置を製作中のため現在は測定結果を表示盤から人間が読取りバッチ処理により標定しているが、間もなくオンライン標定を行なう予定である。標定結果はプリントされるが、できれば同時にディスプレイ装置を使用する予定である。

3. センサおよび増幅器

センサには厚さ 1 mm の圧電セラミックを使用して直径および接着方法を変えて実験を行なったが現在は一応直径 8 mm のものをアロンアルファで鉄板に接着したも

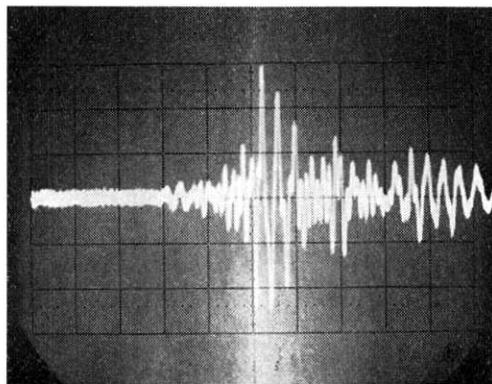


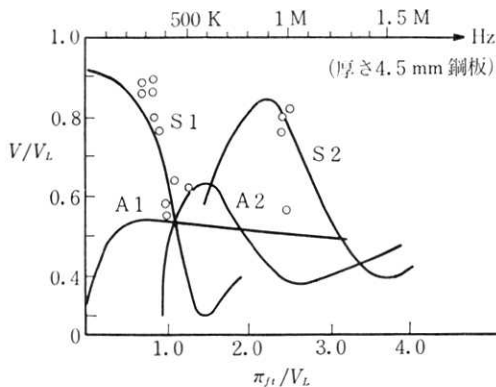
図 5 AE 信号 (メインアンプ出力) 波形の一例 10 μs/div, 1 V/div, 総合利得 70 db, 周波数帯 0.1~1MHz のブロードな場合

のを用いている。模擬 AE 源としては、同じセラミックの直径 8 mm のものをグリースを介して鉄板上に乗せ、これに数 V のパルスを加えて発生する信号を用いている。

図 2, 図 3 にメインアンプとフィルタの周波数特性を示す。プリアンプはメインアンプの 50db の特性とほぼ同一の特性をもっている。プリアンプ、メインアンプとも μ PC 53A を用いた帰還増幅器である。

AE 標定に用いている模擬装置の 1 例を図 4 の写真に示す。鉄板は厚さ 4.5 mm のものを使用し、センサを一边 50cm の正方形に配置している。中央付近にあるのは加振器であって任意の位置に移動できる。周囲四個所にセンサおよびプリアンプがある。

メインアンプ出力の AE 信号の例を図 5 に示す。一般に、板の中を音波が伝わる時 Lamb 波として伝わり、その各モードの周波数-群速度の関係は図 6 のようになると言われている。直径の異なるセンサを製作して実験



$V_L = 2.30 \text{ To } 2.36 \times 10^6$ インチ/秒
 $V =$ 群速度
 $f =$ 周波数
 $t =$ 厚さ

図 6 鋼板中 Lamb 波の周波数-群速度の関係と実測結果

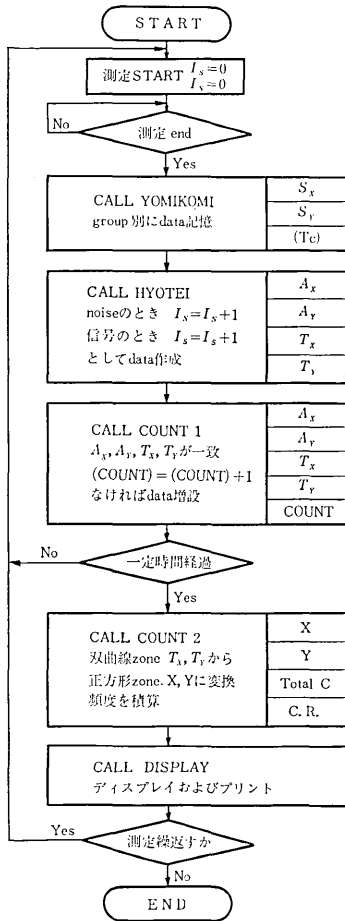


図 7 AE 標定情報処理のフローチャート

しフィルタの特性を変えて得た受信信号波形から求めた周波数と速度の測定結果を同図にプロットして示してあるが、かなりの適合性が認められる。

3. 標定のアルゴリズム

AE 標定を移動用リアル・タイム装置により行なうとすれば、計算機等は小形のものがよい。従って、標定の情報処理アルゴリズムは、なるべく簡単で効率のよい処理が行なわれ、ディスプレイ、危険度の判定なども容易で人間にも分かりやすい形の出力が得られることが望ましい。そのような観点から図 7 にフローチャートを示したソフトウェア・システムを考えた。

標定が始まるとまず時間差測定装置(図 1)に START 信号を送り、CPU 内の I_s , I_N カウンタをリセットする。AE 信号が時間差測定装置に入り測定が終了すると測定 end 信号により割込みがかり YOMIKOMI が開始される。このプログラムでは順位 1 からセンサ名(S_x , S_y)、時間差 (T_c) を 1 ケの group として group 1 から順に記憶される。

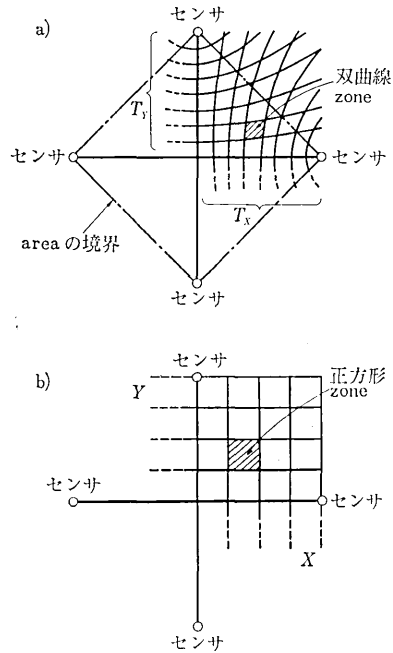


図 8 4 個のセンサでかこまれる area および双曲線 zone (a), 正方形 zone (b)

つぎに、HYOTEI のプログラムに入り、まずその AE 信号発生源が最小単位の正方形すなわち area を構成する 4 個のセンサのいずれかの組にかこまれるかどうかを検査する。かこまれなければ雑音として扱い I_N カウンタを 1 だけ増し、かこまれれば AE 信号として取扱い I_s カウンタを 1 増すとともに area 名 (A_x , A_y) と area の対角線上に向い合った 2 対のセンサの各組における信号の到達時間差 (T_x , T_y) を求める。

つぎに、COUNT 1 において標定された AE 信号源のリストを作成する。すでに作成されたリストの中に同一の双曲線 zone (A_x , A_y , T_x , T_y) があればそのリストの COUNT を 1 だけ増す。

一定時間毎に COUNT 1 で得られた双曲線 zone のリストから COUNT 2 のプログラムにより正方形の zone のリストに変換し、積算度数 (Total C) と一定時間内の度数 (C.R.) を記憶する。双曲線 zone と正方形 zone は図 8 に示すもので、 x 方向と y 方向のセンサ対間の時間差 T_x , T_y をそのまま用いて双曲線 zone の番号とすることができる。また、2 進表示の T_x , T_y の下の桁のビットを落して行くことにより双曲線 zone の大きさを 2 倍ずつに変えることができる。このことは標定に計算を行なう必要がないことを意味し、CPU の処理時間はきわめて短くてすむ。双曲線 zone のままでは統計処理、ディスプレイ、プリントなどに不便なので COUNT 2 によって双曲線 zone から面積の大きい正方

研究速報

形 zone に変換している。この変換は、Table により T_x , T_y から X , Y を求める方法による。このため各正方形 zone は必ずしも同一の面積を代表することにならないがその後の処理に大きな支障は及ぼさない。CO-UNT 2 は現在各 area につき 10 単位分の記憶領域が用意され、不足の時には増設される。

もし AE 信号の頻度が大きく、測定時間中マスクされ、あるいは雑音として扱われる程度が無視できないときは頻度の補正を行なう。

つぎに CALL DISPLAY のプログラムによりディスプレイおよびプリントを行なう。

area および双曲線 zone, 正方形 zone とセンサの関係を図 8 (a), (b) に示す。

4. お わ り に

以上、AE 標定システムのハードウェアおよびソフトウェアの概要を報告した。模擬 AE 源について行なった実験では 1 cm 程度の精度で確実に標定できることがわ

かった。今後はなるべく速かにリアルタイム・システムを作り、実際の AE 信号について種々の場合の実験を行ないたいと考えている。AE 信号を標定するには雑音の処理、AE 波のモードの選択、危険度の判定、ディスプレイの方法、センサの取付方法など工夫を要する点が多いがこれらについての研究を進めて応用できる対象分野を広げ、測定の信頼性を高めていきたいと考えている。これらの研究については後に報告したい。

(1973年2月5日受理)

参 考 文 献

- 1) アコースティック・エミッション特集号, 非破壊検査, Vol. 21, No. 4, 1972, 4月
- 2) 尾上, 山口, 市川, 山田, 野口, “多チャンネル AE 標定システム” 非破壊検査, Vol. 21, No. 9, 552~3, 1972, 9月
- 3) P. H. Hutton その他, “Acoustic Emission For Periodic And Continuous Flaw Detection In Pressure Vessels” US-JAPAN JOINT SYMPOSIUM ON AE, JULY, 1972

東京大学生産技術研究所報告 (刊行予告)

第 23 卷 1 号 (英文)

木 内 学 著

ANALYTICAL STUDY ON COLD-ROLL-FORMING PROCESS

ロールフォーミングに関する解析的研究

本研究は、板材の成形技術として重要な役割を果たしているロールフォーミング加工に関し、成形過程における素材の変形挙動を、主として素材内部に発生する応力の分布とその推移の面から、解析的に検討したものである。

本報告では、まず全体的にみた問題の所在を明らかにし、それらを分析・整理した。次に解析を進める方針を示し、その中で問題の複雑さに帰因する種々の制約条件を処理する方法を示した。特に、成形過程にある素材を全体的に扱うことを止め、ロール直下の領域とスタンド間の領域に分割して別個に解析の対象とする基本的考え方を説明した。

実際の解析ならびに数値計算の面では、ロール直下において素材が受ける種々の変形形態を個別的にモデル化してとりあげ、個々の変形形態に対応する応力分布とその推移に関する解析結果を通して、成形過程において素材に加わる付加的歪成分が目的とする成形加工に与える影響を明らかにした。さらに、実際の成形過程において素材に発生した歪成分の推移を実験的に求め、その結果をもとに素材内部の応力成分の挙動を逐次追跡することによって、上述の解析結果を検証するとともに、付加的歪成分の影響をより正確に明らかにした。

(1973年4月発刊予定)