



溶接施工管理へのアコースティック・エミション法の適用

菊田米男* 荒木孝雄**

1. アコースティック・エミション

9% Ni 鋼を950°C, 1気圧の水素雰囲気中に保持し、水冷後ただちに実験室に放置すると、静かな実験室に「ティン・ティン」と音が響き渡り、9% Ni 鋼に水素割れが生じる。この音が低周波領域でのアコースティック・エミション (Acoustic Emission) である。このように材料中の変化は明らかに可聴音として知ることができるが、鉄鋼の破壊現象および溶接部から発する AE 波は可聴周波数領域での音が Acoustic であるという定義よりも、かなり高い周波数領域、50 KHz から 1 MHz 以上 (4 MHz 程度) である。この場合も AE と呼ばれている。

AE は、一般に、材料内部の組織構造の変化、変態、塑性変形、および亀裂成長などに伴い、貯えられた歪エネルギーが急速に解放されて、それによる弾性波(Stress Wave Emission)あるいは音波放出などと呼ばれる場合もある。

筆者は溶接時の破壊現象を研究対象にしているが、医者が聴診器でもって人間の健康を判断するのと同じように、溶接部の健全性をリアルタイムに判断すべく、AE 法を研究手法に加えた。

2. AE計測解析システム

AE 波の計測解析システムは、医者の聴診器のような簡単ではなく、複雑であり、AE 波の信号検出系、信号処理系および信号解析系の三つの機能に分類される。もちろん、医者の頭脳

は信号処理並びに解析系とすると、偉大であり、コンパクトで、AE 計測解析システムとは比較にならず、また大型すぎる。しかし、AE は溶接部の健全性の診断あるいは、溶接構造物の安全監視に対して、医者のようになりうる可能性を有している。

図1および図2は溶接中に溶接継手から生じる AE 波の計測解析システムを示す。弾性波として伝播する AE 波は被検査体表面に取りつけた AE 変換子 (transducer) によって検出される。ここで機械的信号は電気的信号に変換され、その微弱信号はプリアンプおよびデスクリミネータなどから成る信号処理系にて、増幅および次の信号解析系の各装置に適した電気信号に処理する。

信号解析系は、一般に、AE 計数率、事象数リングダウン計数、振幅、振幅分布、実効値電圧、周波数スペクトラム、波形、AE 到達時間差などの種々の AE パラメータが解析される。

AE 波の計測で最も簡単な利用法は事象数のみを調べる方法で、例えば、工具破損の予知と

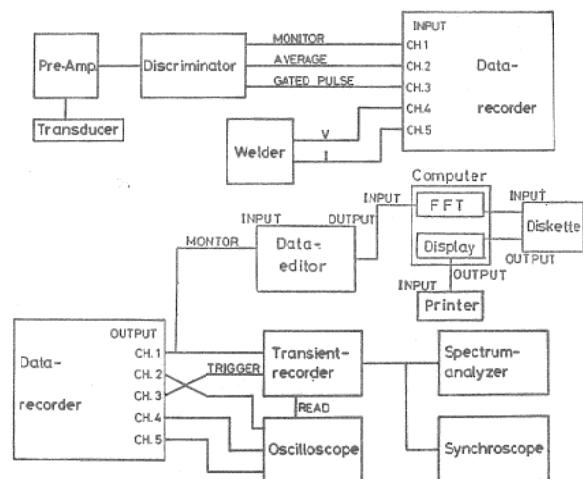


図1 AE計測解析システム

*菊田米男 (Yoneo KIKUTA), 大阪大学, 工学部, 溶接工学科, 教授, 工博, 溶接材料学

**荒木孝雄 (Takao ARAKI), 大阪大学, 工学部, 溶接工学科, 助教授, 工博, 溶接材料学

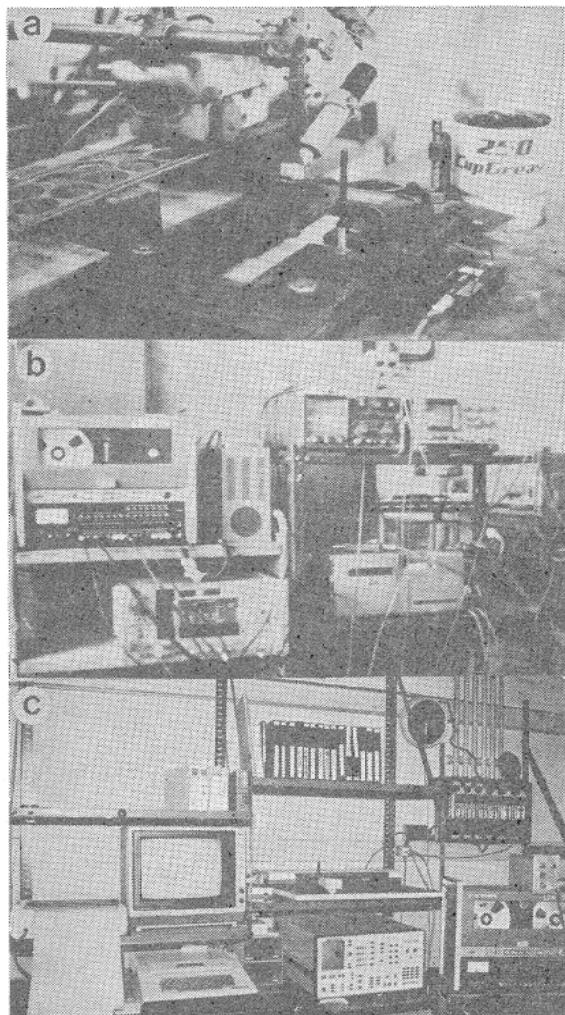


図2 AE計測解析システム、a. TIG溶接およびAE検出系, b. AE処理系, c. AE解析系(FFTシステム)

か、鉄鋼の水素脆化現象の予知などのように明らかに材料内の変化、割れ現象が单一の現象であるならば、その検出のみで十分である。しかしながら、材料内の現象が单一であるとは限らず、治具からの摩擦音とか、環境からの外部雑音、あるいは電気的雑音などが混入することがあり、被検査体の健全性の判断を混乱することがある。とくに、溶接現象では、アーク音、溶滴移行の音、被覆アーク溶接でのスラグ割れの音、および、溶接変形の音があり、溶接部の健全性に関する溶接割れの音の検出を困難にしている。さらに、溶接割れも、高温割れ、SR割れ、および、低温割れがあり、フラクトグラフィの観点からも、延性破壊を示すディンプル破面、粒界破面、擬へき開破面、および、脆性破面などがあり、破壊形態が異なるとともに

AE波も異なり複雑である。AE波の事象(エベント)あるいはその数のみの解析ではそのエベントがいかなる破壊かは判断できず、エベントのAE波形および、周波数スペクトラムを解析し、それぞれのパターンの違いにより各エベントがいかなる現象であるか識別する手法を行わなければならない。この手法は人間の声紋が個々によって異なり、識別することによく似ている。

次に、AE音源が被検査体のどの位置にあるのか、いわゆる位置評定が必要である。この場合、被検査体に数個(後述のAEテレメータシステムでは10ch)の変換子を設置し、AE到達時間差を測定し、解析に供する。

3. AE計測法の溶接割れ検出への適用

図3は板厚3mmのSUS 310Sステンレス鋼板にTIG溶接を行った場合、溶接中に生じた

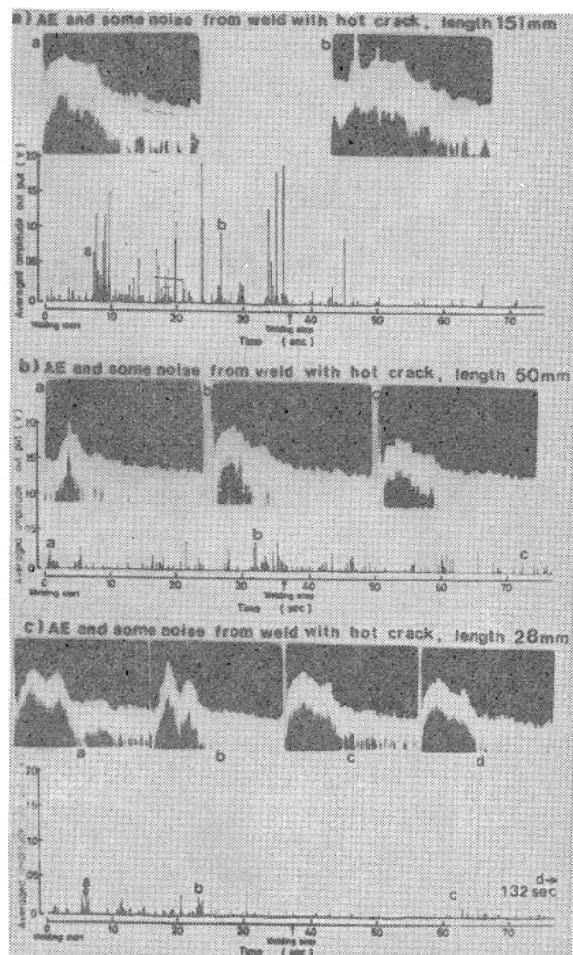


図3 高温割れのAE発生状態とその周波数スペクトラム(DC~IMHz)

AE 波の発生状態および、代表的な周波数スペクトラム (DC~1 MHz の範囲) を示す。各エベントは平均値出力で示しているが、高温割れ長さが減小するほどエベント数が少なくなる傾向にあり、高温割れからの AE を検出している。ただ、注意しなければならないのは材料中の変化が明らかに单一現象であれば、これらのエベントの検出でその現象が生じているとして良いが、本実験では TIG 溶接であり、割れの音以外にアーク音などの他の雑音も検出している。確かに、それぞれのエベントについて、スペクトラムアナライザーにより周波数スペクトラムを測定すると、DC から 400 kHz の周波数帯域に異なったパターンが認められる。データレコーダーに集録したすべてのエベントにつき周波数解析すると図 4 に示すように 290 Hz から 320 kHz の周波数帯域にて三種類の周波数ス

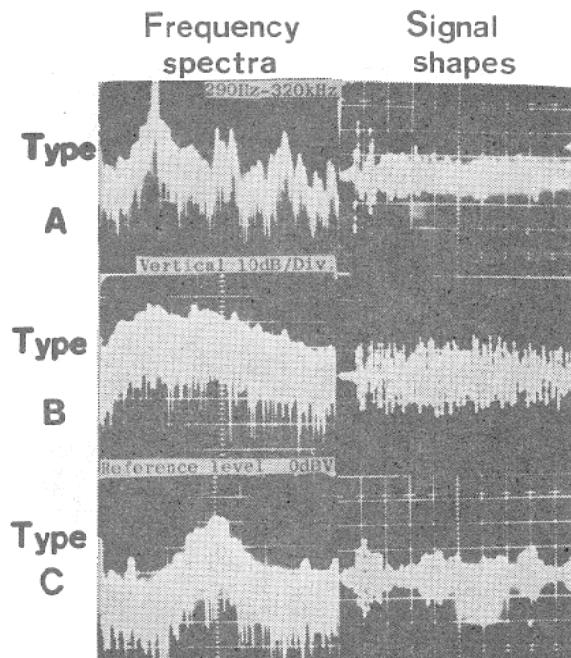


図 4 高温割れ試験に測定された周波数スペクトラム (DC~320 kHz) および AE 波

ペクトラムに分類しうる。そこで、单一の現象として、高温割れ、溶接変形時の摩擦音およびアーク音のみのそれぞれの AE 周波数スペクトラムと三種のパターンを比較し、Type A は高温割れ、Type B は摩擦音および、Type C は 150 kHz 程度の高周波成分であり、波形も单一周波数成分のみを示し、アーク音であること

が知られた。このように、本システムは、異なった AE 種を弁別しうる。

さて、ここで、本システムによる弁別法は研究の初期には、スペクトラムアナライザによる周波数スペクトラムの写真撮影により、行っていた。AE 法の溶接施工管理に適用する場合、リアルタイムに検出、解析しなければ有利ではない。また、写真判断の誤差、および、データ保存にも難点がある。そこで、本システムは図 1 に示したごとく、データ・エディター (A/D converter) を介して、高速フーリエ変換 (FFT) による電算処理を行っている。図 5 はスペクトラムアナライザーの場合と電算処理した場合の周波数スペクトラムを示す。このように、電算処理しても十分データにひずみなく、高速化が可能である。筆者らは高速化と言っても、まだまだ十分なものとは思っておらず、現在、改良中である。しかしながら、このように溶接中の健全性が監視しうることは、さらに発展性を有するもので、現在普及している溶接ロボットは

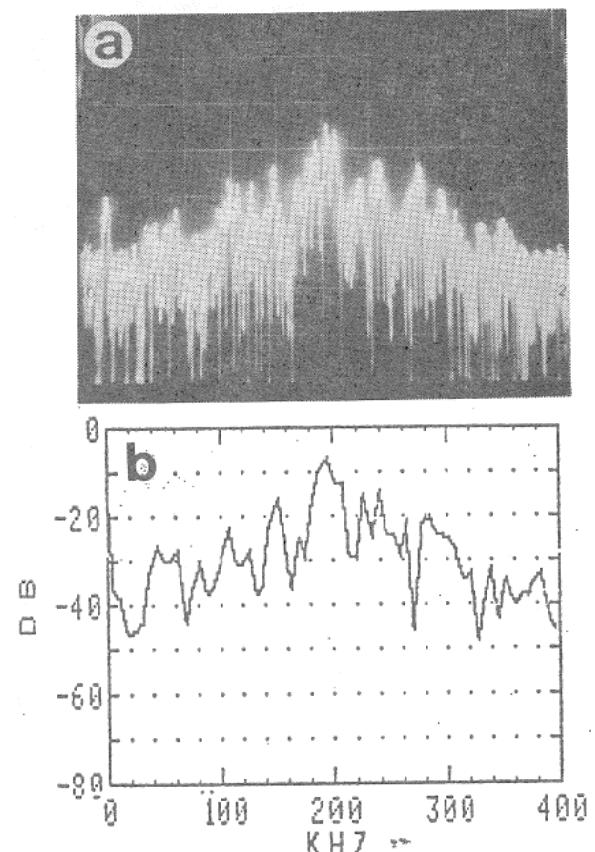


図 5 スペクトラムアナライザによる周波数スペクトラム、a、とその FFT 处理した結果、b、との比較

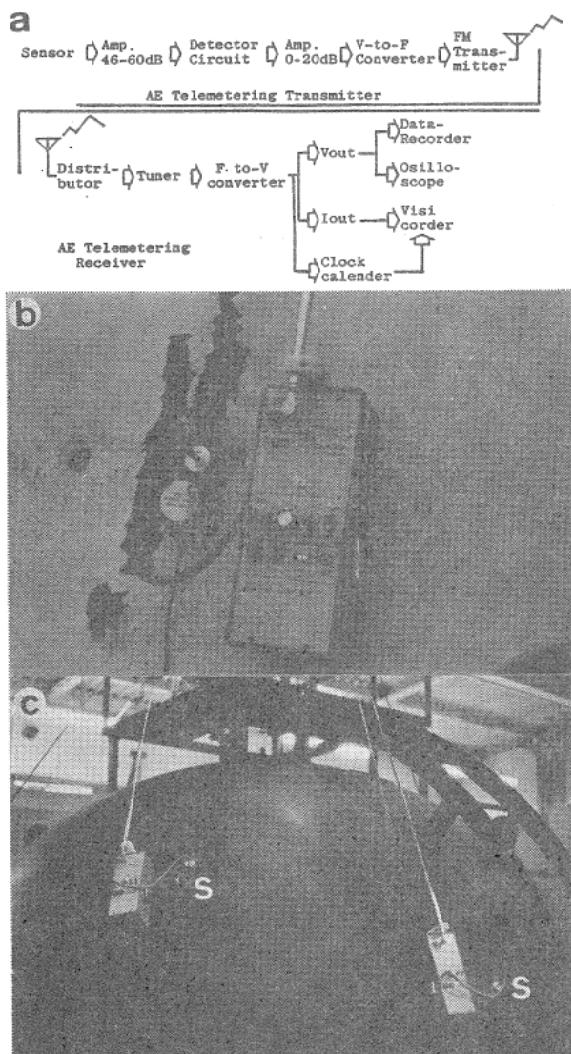


図6 AEテレメータシステム, a; ブロック・ダイヤグラム, b; FM伝送式AE検出系, c; 模型圧力容器での実験状況

溶接欠陥を伴うことが、まずないだろうが、AE計測解析システムを溶接ロボットの知能とすると、溶接線および溶接ビード制御だけでなく、溶接部の健全性も保証しうるようになる。これはAEが溶接部の健全性の診断に対して、医者のようになりうる可能性である。

4. AE計測法の溶接構造物安全監視への適用

前節では、溶接中のAE計測について記したが、溶接後、溶接施工に関連する低温割れなどがあり、この割れもAEにより検出しうる。これについては割愛する。また、溶接後、石油備蓄タンクおよび圧力容器などの化学プラントの稼動中にてもAE計測は適用できる。

図6は当方で開発した溶接構造物の安全監視

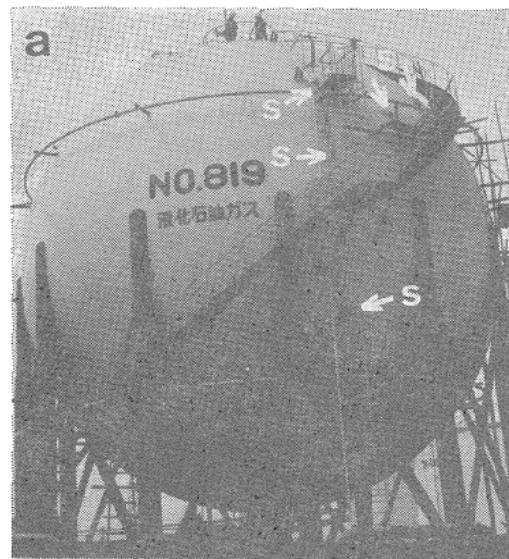


図7 液化石油ガス球形タンクでのフィールド実験, a; センサ取付位置, b; 欠陥評定位置

のためのAEテレメータシステム、FM送信するAE波検出系および、模型圧力容器での実験状況を示す。また、図7は石油備蓄タンクの耐圧試験時の計測状態を示す。本システムは10chの変換子からAE信号をFM無線伝送し、受信後に各変換子のAE到達時間差を解析し、AE音源の位置評定を行う。図7-bは評定した欠陥位置を示す。

ここに記した事例はほんの一部である。現在筆者らは研究室での実験とともに、コーンルーフタイプ石油備蓄タンクなどのフィールド実験を行い、データの蓄積を行っている。しかし、まだ極みは深い。

(本稿での実験遂行にあたり、文部省科学研究費補助金の交付を受けたことを記す。)