

実構造物で検出されたAE信号の定量的解析

＝現在、技術はどこまで進んだか＝

日本フィジカルアコースティクス(株)

湯山 茂徳

実構造物で検出されたAE信号の定量的解析

＝現在、技術はどこまで進んだか＝

日本フィジカルアコースティクス(株) 湯山 茂徳
Shigenori Yuyama

はじめに

今日、「AE信号の定量的評価」を定義するなら、AE源となるたとえばクラックの発生位置を決め、検出された波形セットからモーメントテンソルを導出することにより、その種類（引張型か、せん断型か、あるいは混合型か）や運動の方向を知ることを言う。さらに素性のわかったセンサを用いることで、クラック体積（地震学ではこれに剛性率をかけた物理量を地震モーメントと呼ぶ）や、クラック生成の時間関数を評価することを含める場合も多い。こうした解析を正しく行うためには、正確に校正された少なくとも6個以上のAEセンサが必要であり、ダイナミックレンジが広く、またサンプリング周波数の十分大きい波形記憶装置、さらに解析を行うための特別なソフトウェアが要求される。また解析が可能となる有意な波形セットを効率よく検出するためには、センサ配置に大きな影響を及ぼす被計測体の形状にもある程度の制約が生ずる。従って、AE信号の定量的評価を行うためには計測上相当な技量が要求され、さらに高度な解析ソフトウェアが必要である。このためこうした解析が行われるのは一般的には精密な計測・解析が可能な実験室においてである。一方、各種プラントなどの実構造物においてAEを計測する際に、上述の条件を満足することは、特別な場合を除きほとんど不可能である。それゆえ「定量的評価」の意味するところも、おのずから異ならざるを得ない。

石油・石化プラントにおいては、圧力容器、貯蔵タンク、パイプ、反応塔など各種金属製構造物の劣化診断法として、AE試験が欧米で広く行われている。こ

うした診断は、当然客観的なデータに基づく判断基準が定められ、それをもとに解析が行われなければならない。しかしながら、対象となる構造物は多種多様であり、判断基準を各々の構造物ごと一義的に定めることは不可能である。このため多数の試験で得たデータベースをもとに、経験的に基準が定められることになる。従って、金属製構造物の場合、経験的に得られた評価基準をもとにAE源の位置を定め劣化度を診断することが定量的解析を行うことに対応する、と考えるべきであろう。

一方、コンクリート構造物や岩盤などの土木構造物の場合は、事情が少し異なる。主として薄板で構成される金属製構造物とは異なり、土木構造物においては、三次元空間的な広がりを持つ構造物が多く存在する。このため、前述した実験室で行われる定量的評価法が適用可能なことが多い。実際こうした構造物に、定量的解析法の1つである「モーメントテンソル解析⁽¹⁾」を適用した事例が報告されている。さらに最近では、金属製構造物の場合と同様にデータベースをもとに、部材の劣化度診断を行おうとする試みもなされている。

本稿では、金属製構造物、および土木構造物において、前述した意味での定量的評価法適用の実情についてまとめている。

1. 実構造物での適用事例

1-1 金属製構造物

各種プラントの圧力容器、反応塔、球型タンク等の試験方法およびデータ評価・判定法を規定したデータベースとして、「MONPAC」が、また円筒型貯蔵タ

第1表 繰り返し荷重下における劣化の進行とCBI (Concrete Beam Integrity) 比の変化

CYCLE	CH	CH 2 (hit)	CH 3 (hit)	CH 4 (hit)	CH 5 (hit)	CH 1 ~ 6 (hit)	CH 1 ~ 6 (energy)
2 nd		1.25	—	1.25	—	1.25	1.25
3 rd		1.16	1.16	1.16	—	1.16	1.16
4 th		1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
5 th		0.69	0.69	0.69	1.00	0.69	0.69
6 th		0.53	0.53	0.53	0.80	0.53	0.53
7 th		0.68	0.40	0.50	0.68	0.40	0.25

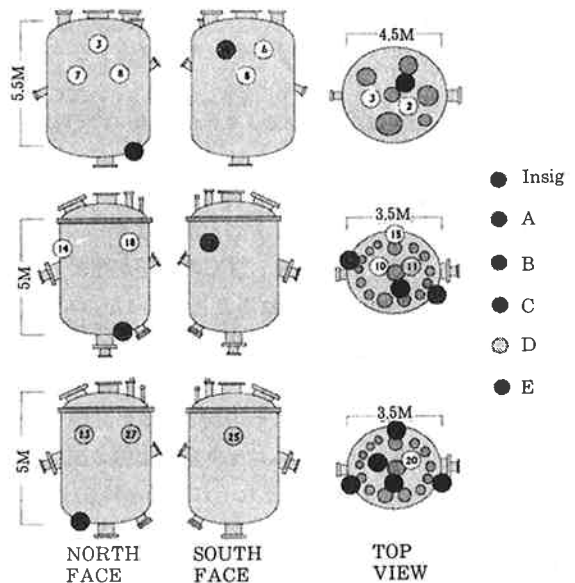
ンク底板の腐食損傷診断のために開発されたデータベースとして「TANKPAC」がある。MONPACは1970年代半ばより、今日までに行われた数万件のAE試験をもとにまとめられている。またTANKPACは、1990年代初頭より行われてきた約3000件の試験データから形成される。これらを基に、欧米において、石油・石化プラントで実構造物の劣化度診断法としてAE法が用いられ、維持・管理経費節約の手段として、極めて有効であることが示されている⁽²⁾⁽³⁾。以下、その適用事例をいくつか紹介する。

1-1-1 ステンレス製反応容器

連鎖した5基のステンレス製反応容器に対して、毎年継続的にAE試験が行われている。攪拌器による雑音を除去するため必要となる一時的作業中断時(約2時間)に合計64個のAEセンサを取り付け、窒素ガスを注入し通常運転時の110%まで加圧して、AEを計測する。この試験で2基の容器の鏡板部に、第1図に示されるごとく、MONPAC判定グレードE(最も危険度の高いランク)のAE源が発見された。これはSCCクラックによるものと推定されたため、直ちに補修用の器材が発注された。後に行われた作業停止時の検査により、厚さ方向80%にいたる内面SCCクラックが発見された。AE試験によりSCCクラックの存在が推定され、予め必要な器材を調達することができたため、作業停止期間を大幅に短縮することが可能となり、このことにより約2億円程度の経費を削減することができたとされる。

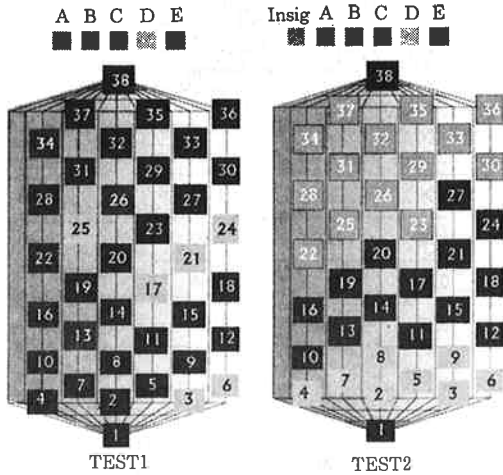
1-1-2 ステンレス製円筒容器

直径4m、高さ38mのステンレス製容器に対して作業一次停止時に窒素ガスを用いた加圧によりAE試験が行われた。第2図TEST1に示されるように容器下



第1図 MONPAC評価規準でグレードEと判定されたステンレス製反応容器鏡板部のSCCクラック

部鏡板近くにグレードEのAE源が発見され、後に行われた浸透探傷試験により、保温材下で外面より生じた貫通SCCクラックであることが確認された。その部分は、直ちに一時補修がなされ、後に実施された作業停止時に本格的な補修が行われた。作業停止時に容器は酸洗いされ、再び保温材が取り付けられた。2年後に再度AE試験を行うと第2図TEST2に示されるごとく前回とは異なる部位にグレードDのAE源が発見された。引続き行われた非破壊検査により、これは容器下部の溶接熱影響部に生じた、内面ナイフライン腐食によるものであることが確認された。



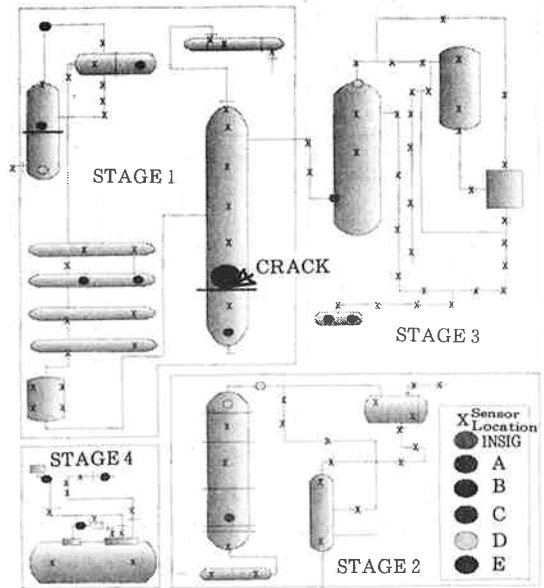
第2図 AE試験でステンレス製円筒容器に発見されたSCCクラック (TEST1) とナイフライン腐食 (TEST2)

1-1-3 プロセスユニット

対象となるプロセスユニットの大部分はオーステナイトステンレス鋼で構成され、SCCの問題が頻繁に生じたため、AE試験が実施されることとなった。ユニット全体は、多数の容器とパイプ部分からなる。試験時期として、予め計画されたオーバーホールの直前に窒素ガスを用いて加圧を行い、その時にAEを計測することが最適と判断された。ユニット全体を第3図に示すように4つの部分に分け、それぞれを別々に加圧し、全体の試験は操業停止中の4日間で終了した。グレードの高い(危険度の大きい)AE源には、引き続き他の非破壊試験を行った。もしAE試験のように、ユニット全体を迅速に短期間で検査可能な健全性診断法が用いられなかったとしたら、操業停止期間は数ヶ月にわたったと考えられる。多くの内面SCCクラックは、他の非破壊検査法では検出不可能であり、AE試験を行うことによってのみ発見可能であった。

1-1-4 貯蔵タンク底板

円筒型貯蔵タンクの底板は、操業中には観察することができない。我国では法規制により、1000キロリットルを越えた貯蔵能力を持つタンクは、その容量に応じて6年もしくは10年ごとの内部開放検査が義務づけられている。タンクの開放検査にともなう操業停止、清浄、さらに検査などにかかる経費は、大型タンクの場合、数千万円を越えることも珍しくない。もしこうした開放検査で何らの問題も発見されなかったとした



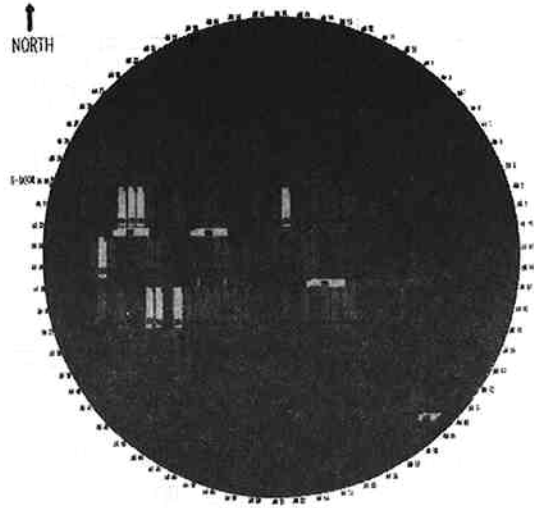
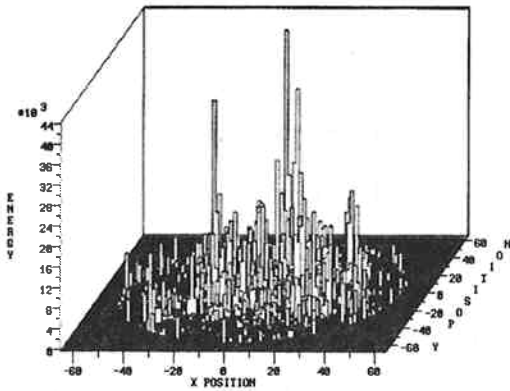
第3図 プロセスユニット全体の窒素ガスを用いた加圧によるAE試験

ら、検査にかかった莫大な費用は、全く無駄で無意味なものとなる。「TANKPAC」は、これまでに構築された膨大なデータベースを参照し、活性な腐食の進行で生ずるAEを、感度の高いAEセンサを用いて検出することにより、タンク底板の損傷診断を行う試験法である。この試験により、タンク底板が良好な状態であると判定されれば開放検査を先送りし、そのまま操業が継続可能となるため、経費を大幅に節約することができる。また、多数のタンクに対して試験を行えば、その判定結果をもとに、開放検査を行うタンクの優先順位を決めることができる。

第4図は、原油タンクへの適用例である。左図は、底板におけるAE発生位置を示したもので、z軸方向に大きな値を示す位置ほどAEイベントが多く検出され、腐食損傷の激しい位置であることを表している。また右図は、同じ底板に対して、開放検査時に清浄後、磁束漏洩スキャンを行ったときの結果である。この検査で減肉が極めて大きいと判定された位置は、多くのAEイベントが検出され、腐食損傷が激しくグレードEと判定された位置とよく一致している。

1-2 土木構造物

高度成長社会から、安定成長型社会への移行とともに、社会基盤となる土木構造物の効率的な維持・管理



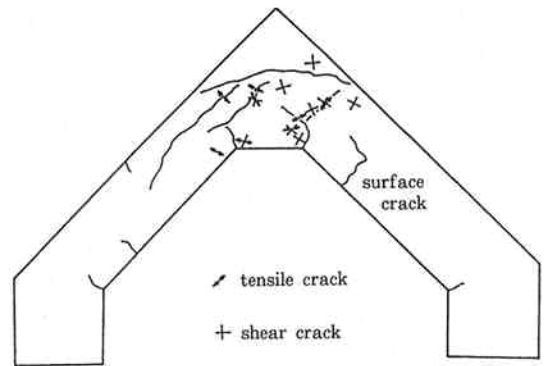
第4図 原油貯蔵タンク底板のTANKPACによる腐食損傷診断

技術確立の必要性が高まりつつある。こうした中で、AE法はクラックの発生を早期に検出するのに優れ、また合理的施工の面からは、内部欠陥の発生を監視しながら施工管理を行うのに適した手法^{(4) (5)}であるため、各種構造物で広く適用されている。定量的評価法として用いられるのは、いわゆる「モーメントテンソル解析」と呼ばれる手法⁽¹⁾であり、またデータベースに基づく劣化度診断には、レートプロセス、およびAE現象で極めて重要なカイザー効果の成立・不成立、そして除荷時に検出されるAE信号に注目した評価法が用いられている。ここでは、これらを適用した構造物検査の事例をいくつか紹介する。

1-2-1 モーメントテンソル解析

モーメントテンソル解析法の特徴は、AEを発生したクラックの、三次元的な位置、種類、傾きの方向、さらに運動の方向が定量的に評価できることである。このため、固体中に生ずるクラック進展過程を、三次元空間中に図示することにより可視化できる。それゆえ、とりわけせん断型クラックの発生が重要な意味を持つコンクリート部材において、クラックの発生位置、荷重、発生状況などを解析する手法として、適用性が高いと考えられている。これまでに、実験室レベルの供試体、構造物の実物大モデル⁽⁶⁾、大型構造物の破壊試験⁽⁷⁾などに適用され、多くの成果をあげている。

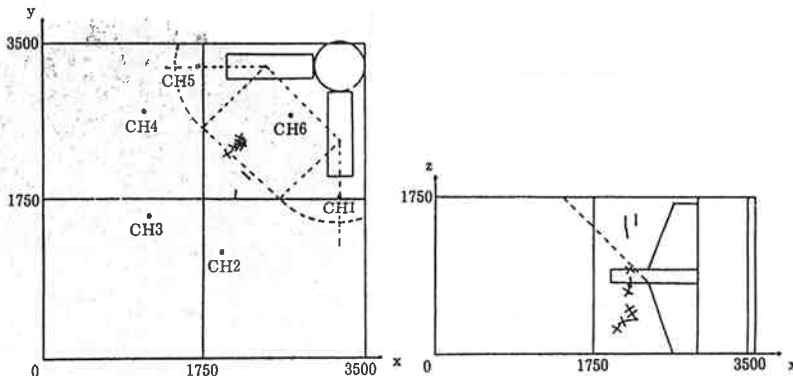
第5図に、箱型ラーメン隅角部の破壊試験で得た結果が与えられている⁽⁶⁾。試験は、隅角部が開く方向



第5図 箱型ラーメン隅角部の破壊試験におけるモーメントテンソル解析結果

の負荷-除荷を、最大荷重を少しずつ増加させながら繰り返す、という方法で行われた。その結果によると、5回目の負荷において、主曲げクラックの開口量が0.2mmを越え、カイザー効果が成立しなくなると、初めてせん断型クラックが検出されるようになった。また、図中に示されるごとく、モーメントテンソル解析で得た各クラックの位置と種類、およびその運動方向は、表面上に目視されたクラックの発生状況と、よく一致していた。

これまで報告された事例に共通した現象として、「表面クラック幅が、0.12~0.2mm程度を越えると、鉄筋付近に発生するせん断型クラックが主要な役割を果たすようになるために、カイザー効果が成立しなくな



第6図 送電用大型鉄塔基礎の引抜き試験時に発生したAEのモーメントテンソル解析結果

り、また除荷時にもせん断型クラックが多く発生するようになる。」こと⁽⁸⁾があげられる。現行の、鉄筋コンクリートに関する限界状態設計法によれば、表面にみられる許容クラック幅は、0.15~0.2mm以下とされ、この値を越えた場合は、耐久性に問題が生じるようになると考えられている。従って、鉄筋コンクリート部材の健全性評価を、AE法を用いて行う際に、カイザー効果成立の有無、および除荷時のAE活動の有無が、有効な判断基準になりうると思われる。

第6図は、送電用大型鉄塔基礎の引抜き試験時に発生するAEに、モーメントテンソル解析を適用した時得られた結果である⁽⁷⁾。試験は、6.5m×6.5m×1.75mの寸法を持つ大型供試体に対して行われた。第6図は一回目の載荷で得られた結果で、この過程で発生したのは大部分、図中↔印で示される引張型クラックであるが、荷重が763 t・fに至り、初めてせん断型クラックの発生するのが確認された。この荷重は、ひずみ判定による斜めクラック発生荷重とよく一致していた。従って、モーメントテンソル解析は、実機大型コンクリート構造物の破壊進行過程を、定量的に評価するうえで、極めて有用な手段であると考えられる。

第7図に示される建設中のアーチダムの二次クーリング時およびジョイントグラウト時の挙動監視に、モーメントテンソル解析が適用された^{(9)~(11)}。ダム堤体は、極めて大きなコンクリート構造物であり、通常のAE計測に用いられる周波数帯域(50kHz~1MHz)では減衰が大きいため、有意なAE信号を検出することは困難である。そこで、ここでは低周波数帯域で検出感度の高い15kHz共振防水ブリアンプ内蔵型センサを、コンクリート表面近くに埋設して計測を行った。この

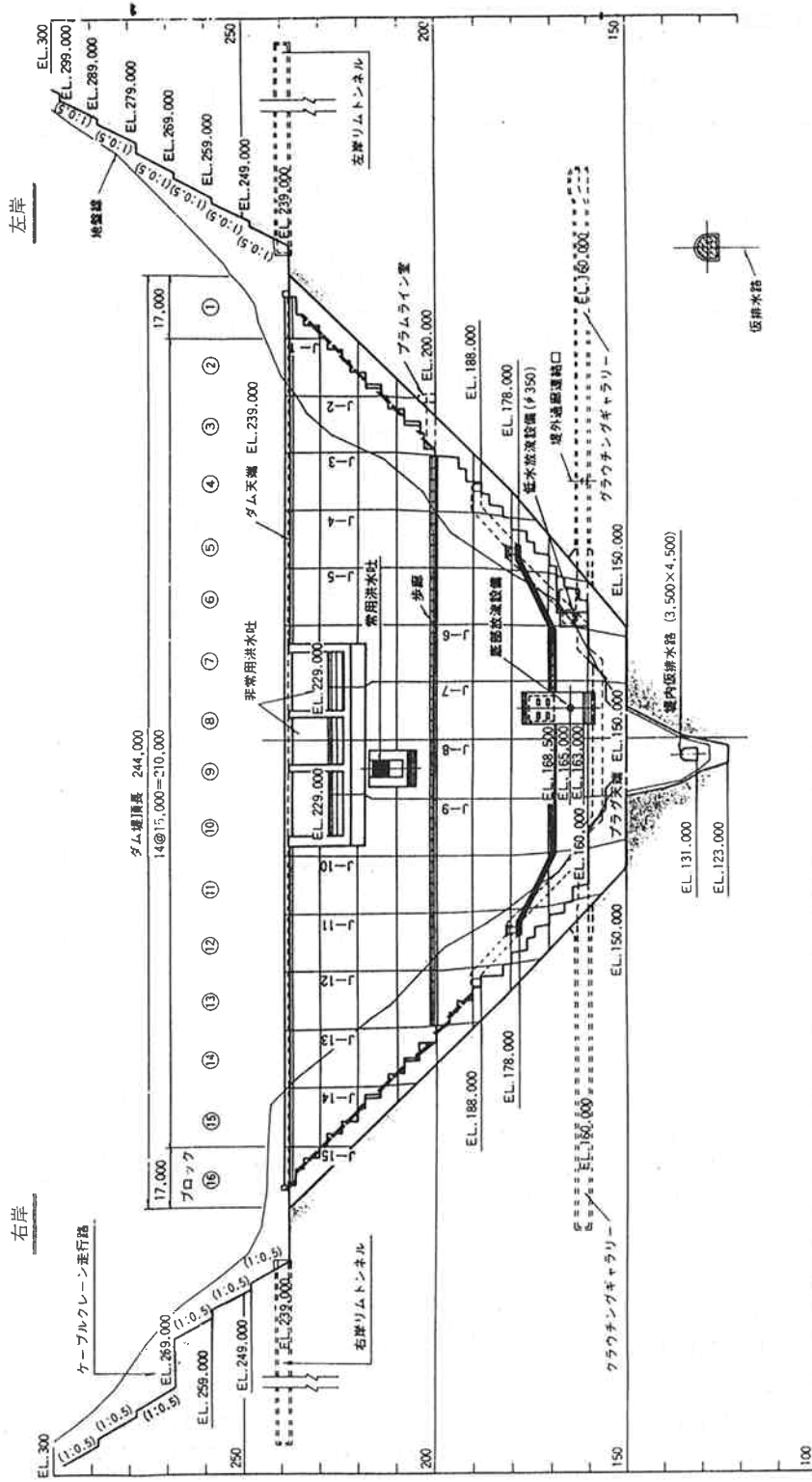
時最大センサ間距離は、約20m程度であった。第8図に、二次クーリング中に検出された、モーメントテンソル解析が可能なAE波形セットの一例を示す。計測中にこうした波形セットが十数組検出された。そのAE発生源は、冷却用パイプの機械的雑音によるものであると推定され、クラックの発生・成長などダム堤体にとって危険な現象は生じていないことが確認された。

岩盤の空洞掘削に伴う応力再配分により、空洞周辺部に生ずる「ゆるみ領域」を定量的に評価するために、発破直後からAE計測が行われ、そこで検出された波形セットにモーメントテンソル解析が適用された⁽¹²⁾。第9図にその結果が与えられている。(a)はAE発生位置を水平面に、また(b)は垂直面にそれぞれ投影した結果である。ここで引張型クラックは↔印で示され、その方向がクラック開口方向に一致している。一方、せん断型クラックは、+印で示され、クロスの一方向がすべり方向を与える。この図から、壁面のごく近傍では引張型クラックが卓越していることがわかる。また掘削方向に対して、斜め前方にもクラックが発生していることから、応力再配分の影響は、掘削されていないかなり前方にまで及んでいることが理解される。ここでゆるみ領域を潜在クラックの成長や新たなクラックの発生する領域と仮定すると、掘削壁面から2m程度までが空洞掘削によって影響を受けた領域であると判断される。

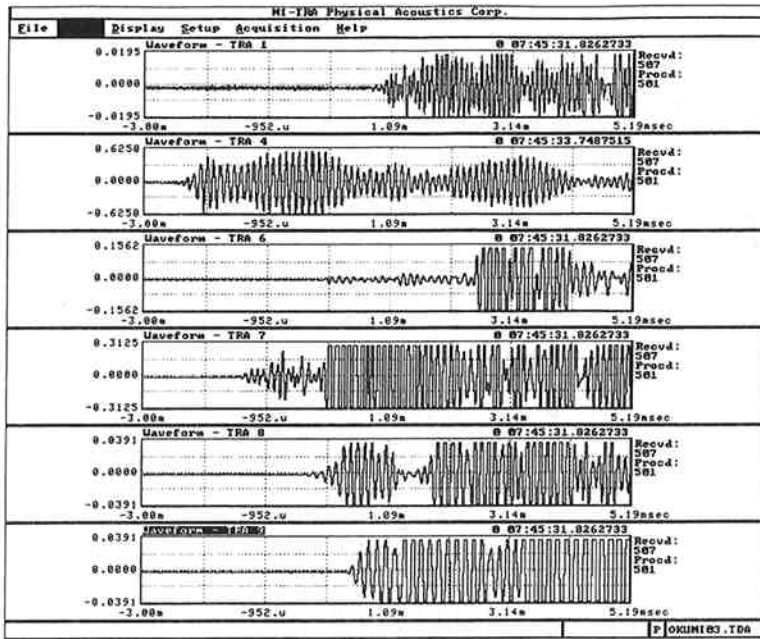
1-2-2 データベースによる劣化度の診断

(1) レートプロセスによる劣化度の評価

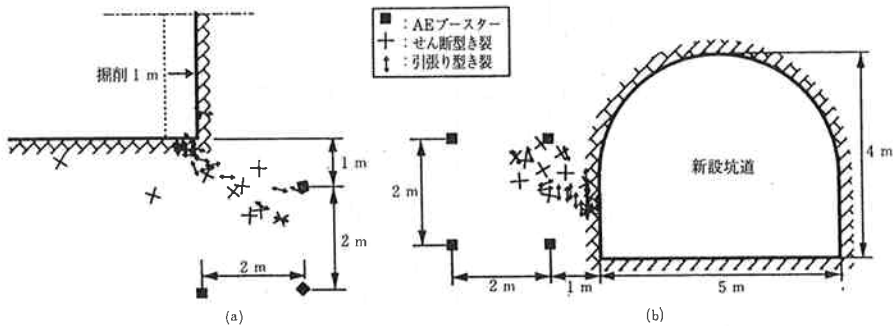
コンクリート構造物の維持管理において、コンクリートコアを採取して力学的特性を調査することが行われる。その際に、AE発生数を計数し、荷重下のAE発生



第7図 建設中のアーチダムの下流面展開図



第8図 二次クーリング中に検出されたモーメントテンソル解析が可能なAE波形セット



第9図 岩盤の空洞掘削時に、空洞周辺部に生ずるゆるみ領域で発生したAEのモーメントテンソル解析結果

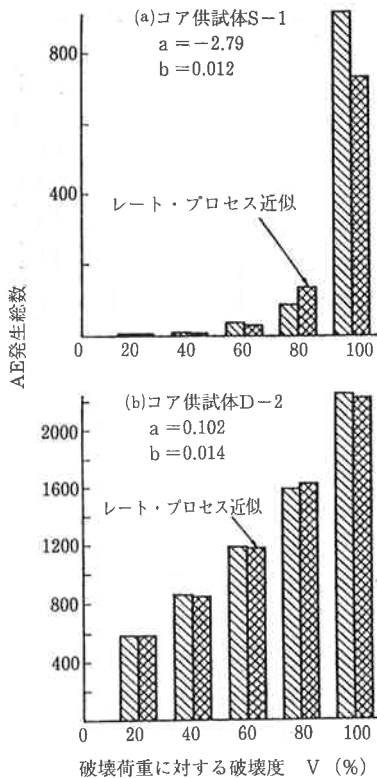
挙動からコンクリートの劣化度を評価しようとする試みがなされている⁽¹³⁾。たとえば、第10図に示されるように、劣化の著しいコンクリートのコア供試体 (D-2) と、健全なコア供試体 (S-1) の圧縮試験中におけるAE発生挙動を比べると、健全なものは(a)に示されるように、低い荷重レベルではほとんどAEが発生しないのに対して、劣化したものは、(b)に示されるごとく、荷重の初期から多くのAEが発生するという違いがある。これを定量的に評価できるようにレートプロセス理論を用いて、AE事象Nと荷重レベルV (%)を、

$$N = cV^a \exp (bV)$$

で近似する。ここで、係数a、b、cを決定すれば、図中に示すように、aが正值、あるいは負値をとるかの違いにより、劣化度を定量的に表すことができる。この解析法を多くのコンクリート構造物に適用してデータベースを作成することにより、将来的に実構造物の維持管理をさらに効率的に行えるようになると期待されている。

(2) コンクリートはりの劣化度診断

コンクリート構造物を補修するときは劣化した部分をはつりとり、この部分に補修材を充填するというのが一般的な補修工法である。このような供試体 (第11図) に対して、設計目的に応じた機能を発揮している



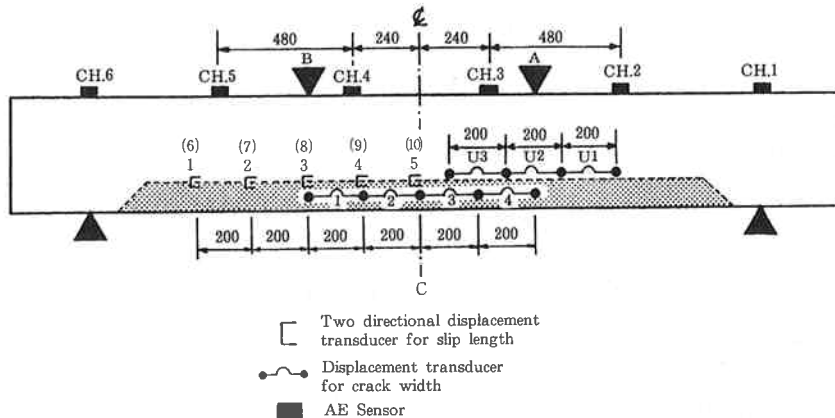
第10図 コア供試体の一軸圧縮下でのAE発生挙動

か、あるいはその構造部位が機能を継続して維持しているかを評価する目的で、繰り返し曲げ荷重が負荷され、その部材内に進展する劣化状態を、AE法で監視・解析することが行われた⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。その結果から、AE法で欠陥の進展状態を敏感にモニターできること、検出したAE信号の振幅値を解析することにより、異

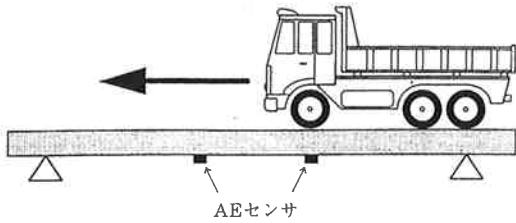
なるAE発生要因をある程度識別できること、また欠陥の発生部位を特定化できることなどが示されている。さらに、劣化度を診断する有効な判断基準として、CBI比が提案されている。これは、再負荷時にAEの発生した荷重と以前に経験した最大荷重との比を表したもので、鋼構造物やFRP構造物の健全性診断指標として用いられるフェリシティー比と同じ定義に基づいている。Table.1に繰り返し負荷過程で得たCBI比がまとめられている。それによると、4回目の負荷で接合面で大規模なすべりが発生して以後、5回目の負荷以降はこの値が1以下を示すようになり、さらに一般的傾向として、損傷部が拡大するとともにCBI比はさらに小さな値をとり、除荷時にも大量のAE信号が検出されるようになる。

一方、前述したように、モーメントテンソル解析により、鉄筋コンクリート供試体において表面クラック幅が、0.12~0.2mmを越え、鉄筋付近でせん断型クラック発生が主な役割を果たすようになると、以後の再負荷時にカイザー効果が成立しなくなることが定量的に示されている。従って、CBI比は補修したコンクリート構造物のみならず、通常のコンクリート構造物の健全度を表わす一般的な指標になりうると考えられる。

実構造物に、この評価法を適用し、有効性の確認された事例⁽¹⁶⁾が報告されている。経年劣化した栈橋上を第12図に示すごとく、荷重の異なるダンブトラックを往復させた時にAE信号を計測して得られたもので、補修して問題のないはりからは全くAE信号が検出されなかったにもかかわらず、表面クラックが存在し、さび汁の目視された劣化はりにおいては、極めて多量



第11図 補修した鉄筋コンクリート供試体と各種センサの取付位置



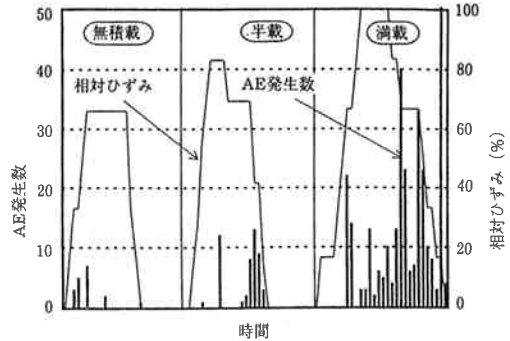
第12図 荷重の異なるダンプトラックの往復による鉄筋コンクリートはりの載荷試験

のAE信号が検出された。第13図にその結果が与えられている。異なる荷重を持つダンプトラック（自重のみで無積載、11.5t：半載、14.5t：全載、17.4t）を往復させたときに計測されたAE信号計数率を、はりの主鉄筋に取り付けたひずみゲージの計測結果と同時に示したもので、第1回載荷（自重のみ）で載荷初期にかなりのAE信号が検出されている。また、第2回載荷（半載）では、カイザー効果がほぼ成立しているが、除荷時に多くの信号が検出されるようになり、第3回載荷ではカイザー効果は全く成立せず、除荷時に極めて多くのAE信号が検出されている。ここで、第3回載荷時におけるCBI比は、約0.6であった。このように、劣化の進んだ実構造物において、劣化度診断の指標としてCBI比が有効であり、除荷時に検出されるAE信号が劣化損傷の評価基準として有用であることが確認された。

こうした、カイザー効果の不成立現象に基づくCBI比、および除荷時におけるAE発生挙動は、コンクリートはりの劣化度判定基準として有効性が極めて高い。この基準を実構造物に適用し、信頼度の高い評価を行うには、実験室における精密な試験を繰り返し、それと同時にできる限り多くの実構造物に適用し、信頼性の高いデータベースを構築する必要がある。現在、こうした作業が精力的に進められつつあり⁴⁰⁾、これに基づくコンクリートはりのAE試験法、およびその判定法に関する規格⁴⁰⁾が提案されている。

おわりに

実験室において、理論に基づくAE信号の波形解析により定量的な評価を行うことはすでに体系化され、その精度や限界について多くが明らかにされている。この定量的評価法を実構造物に適用するのは、一定の条件、すなわち適切なセンサ配置により三次元位置標



第13図 AE信号計数率と主鉄筋ひずみ量の各載荷過程における履歴

定が行えるという条件を満足する、一部の土木構造物以外ではほとんど不可能である。従って、石油・石化プラントにおける金属製構造物や、多くのコンクリート構造物において、検出されたAE信号の定量的評価を行うと言うことは、多数の試験から得たデータベースをもとに、構造物の劣化度を評価・診断することと、本稿では定義した。

こうした構造物の劣化度診断を行うには、できる限り多くの試験事例を参考にし、信頼性の高いデータベースを構築する必要がある。これには、極めて多くの労力と時間を要し、困難な作業を伴う。金属製構造物のAE試験に関するデータベースである「MONPAC」の作成に多大な貢献をした著名な研究者は、対象となるデータベースが実用的に70~80%程度の信頼度があれば、構造物の維持管理を効率的に行い、その経費を削減するのに十分有用である⁴⁰⁾とさえ言っている。むしろ100%の信頼性を持つ技術開発を目指すことは技術者の義務であり、その実現は夢であろう。しかしながら、現実的には100%完璧な技術など、この世に存在しないことも本当の技術者ならよく知っている。肝心なことは、AE試験に限らずいかなる技術においても、常にその信頼性について客観的な検証を行い、万一の不都合発生に備え、十分な危機管理体制下で適用することであるように思われる。

<参考文献>

- (1) 大津政康、重石光弘、湯山茂徳、岡本享久：AEモーメント・テンソル解析のためのSiGMAコードの開発、非破壊検査、42 (10)、pp.570-575、(1993)
- (2) P.T.Cole：European and American Experience of Acoustic Emission Applications in the Chemical Industry, PAC Technical Report, (1996)

- (3) P.T.Cole and S.N.Gautrey : Acoustic Emission from Active Under Insulation Corrosion-A Case History from a Sulphur Tank, EWGAE Meeting, July 1996
- (4) 大津政康 : コンクリート構造物の健全度診断へのアコースティック・エミッションの適用、コンクリート工学、25 (12)、pp.5-11、(1987)
- (5) 湯山茂徳 : 最近のAE法によるコンクリート構造物検査、非破壊検査、44 (1)、pp.8-14、(1995)
- (6) 湯山茂徳、岡本享久、重石光弘、大津政康 : モーメント・テンソル解析適用による鉄筋コンクリート供試体中に生ずるひび割れ進展過程の定量的評価と可視化、非破壊検査、43 (8)、pp.514-522、(1994)
- (7) 村上祐治、清水保、神山英幸、松島学、湯山茂徳 : 送電用鉄塔基礎の定着引抜き実験に関する変形挙動とAE特性 (そのII、モーメント・テンソル解析)、第9回AE総合コンファレンス論文集、pp.143-150、(1993年11月11日、12日)、(沖縄)
- (8) 長瀧重義、岡本享久、綾田隆史、湯山茂徳 : AE法による鉄筋コンクリート部材のひび割れ進展状況の把握、土木工学における非破壊評価シンポジウム講演論文集、土木工学構造工学委員会、pp.139-144、(1991)
- (9) 内田昌勝、峰村修、坂田昇、岡本享久、湯山茂徳 : アーチダム堤体のAE計測による挙動監視、1997年度土木学会講演集
- (10) 斉藤天、坂田昇、岡本享久、峰村修、湯山茂徳 : アーチダム堤体のAE計測による2次クーリング時の挙動監視、1997年度土木学会講演集
- (11) 岡本享久、峰村修、坂田昇、湯山茂徳、丸山久一 : アーチダム堤体のAE計測によるジョイントグラウト時の挙動監視、1997年度土木学会講演集
- (12) 畑浩二、吉岡尚也、木梨秀雄、藤原紀夫 : AE計測に基づいた空洞掘削時のき裂進展解析、第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.306-310、(1995年1月)
- (13) 松山公年、大津政康、多田東臣、油野邦弘 : コンクリートの劣化評価のためのコア供試体の圧縮試験へのAE試験法の適用、コンクリートの非破壊検査法に関するシンポジウム論文集、pp.129-132、(1991)
- (14) S.Yuyama, T.Okamoto and S.Nagataki : Acoustic Emission Evaluation of Structural Integrity in Repaired Reinforced Concrete Beams, Mat. Eval., 52 (1), pp.86-90, (1994)
- (15) 長瀧重義、岡本享久、曾我寿孝、湯山茂徳 : 補修した鉄筋コンクリートはりのAE特性、土木学会論文集、第426号、pp.75-80、(1991年2月)
- (16) T.Kamada, M.Iwanami, S.Nagataki, S.Yuyama and N.Ohtsuki : Application of Acoustic Emission Evaluation of Structural Integrity in Marine Concrete Structures, Progress in Acoustic Emission VII (JSNDI), pp.355-360, (1996)
- (17) M.Uchida, T.Shibata, D.Mori, T.Okamoto, M.Ohtsu and T.Kishi : Structural Integrity Evaluation of Concrete Members by Acoustic Emission Method, Progress in Acoustic Emission VII (JSNDI), pp.82-87, (1996)
- (18) S.Yuyama, T.Okamoto, T.Kamada, M.Ohtsu and T.Kishi : A Proposed Standard for Evaluating Structural Integrity of Reinforced Concrete Beams by Acoustic Emission, Progress in Acoustic Emission VII (JSNDI), pp.295-304, (1996)
- (19) T.J.Fowler : Chemical Industry Applications of Acoustic Emission, Mat., Eval., 50 (6), pp.875-882, (1992)

【筆者紹介】

湯山茂徳

(昭和26年6月8日生・静岡県出身)

日本フィジカルアコースティクス(株) 代表取締役

〒150 東京都渋谷区東2-17-10 岡本LKビル8F

TEL : (03) 3498-3570

FAX : (03) 3498-8450

<趣味> フルート演奏、美術品鑑賞

<主なる業務歴および資格>

1982年東京大学大学院工学系研究科博士過程終了、工学博士、1983年現日本フィジカルアコースティクス(株)設立、以後、AE計測装置の輸入販売、AEによる材料評価の研究、構造物のAE試験などに携わる。

日本フィジカルアコースティクス株式会社

<代表者名> 湯山茂徳

<本社住所>

〒150 東京都渋谷区東2-17-10 岡本LKビル8F

TEL : (03) 3498-3570

FAX : (03) 3498-8450

<資本金> 1,600万円

<年商> 1億5,000万円

<従業員数> 5名

<主要取引先> 大学、官公庁研究所、企業研究所

<事業内容および会社近況>

米国フィジカルアコースティクス (PAC) 社の子会社として、AE計測装置、超音波探傷装置、渦流探傷装置などを日本国内で輸入販売。さらにAE法による材料評価などのコンサルティング業務。また金属製、FRP製、コンクリート製構造物などのAE試験業務を行う。
