

# AE法によるコンクリート構造物の健全性診断

湯山 茂徳 日本フィジカルアコースティクス(株)

岡本 享久 太平洋セメント(株)

## Evaluation of Structural Integrity in Reinforced Concrete by Acoustic Emission

Shigenori YUYAMA Nippon Physical Acoustics Ltd. and

Takahisa OKAMOTO Taiheiyō Cement Co., Ltd.

**キーワード** アコースティックエミッション, 非破壊検査, 健全性診断, 鉄筋コンクリート, はり, 床版, 柱

### 1. はじめに

昭和30年代後半から40年代にかけて施工された高速道路や橋梁などは、すでに建設後30年近く経過し、交通量の増大および車両の大型化による繰り返し荷重の増加などの原因で、鉄筋コンクリート(RC)はりや床版など部材の劣化が進行している。また、阪神大震災の際には高速道路が大きな被害を受け、深刻な問題となった。こうした地震の被害を未然に防ぐために、コンクリート構造物の維持管理の重要性が認識され、各高速道路において、支脚の補強や床版の交換などの工事が行われている。このような工事を円滑に進めるうえで、工事部位の状況を適切に把握し、コンクリート構造物の劣化度を正確に判断可能な非破壊検査法の確立が極めて重要である。

コンクリート構造物において、通常の検査では、目視により表面クラックの発生状況や、異常部位の観察・点検が行われる。このような検査では、構造物表面の状態のみを観察することから、コンクリート内部にある鉄筋の腐食や、コンクリートの材料劣化などを評価することはできない。したがってその表面性状のみならず、内部の状態を含め、構造物全体の劣化度を評価するために、新たな診断法の開発が強く望まれている。

AE法<sup>1)</sup>は応力下で成長しつつあるひび割れの検出に極めて敏感なため、実験室における材料評価法として広く用いられている。また金属性構造物やFRP製構造物の健全性診断法として、ASMEにより試験規格<sup>2), 3)</sup>が制定され、世界各地で数多くの試験が行われている。一方、コンクリート構造物の分野では、進展性欠陥の実時間における連続監視

に優れているため、ひび割れ進展過程の評価を行う目的で、鉄筋コンクリート供試体や部材に対して多くの適用が進められつつある<sup>4) - 24)</sup>。

本稿では、コンクリート構造物の主要部材をなすRCはりや床版、そして柱に対してAE法を用いて健全性診断を行った事例について紹介し、その評価法について述べる。

### 2. RCはりの健全性診断

RCはりに対しては、実験室における基礎試験として<sup>7), 8)</sup>また実物モデル供試体<sup>11) - 13)</sup>、さらに実構造物<sup>15)</sup>において、多くのAE試験が行われている。ここでは、実物モデル供試体、および実構造物にAE試験を適用した事例を紹介する。

#### 2.1. RCはりの評価法

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。このようなはり供試体(図1)に対して、設計目的に応じた機能を発揮しているか、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載荷され、そのとき部材内に進展する劣化状態を、AE法で監視・解析した<sup>11), 12)</sup>。

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た。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

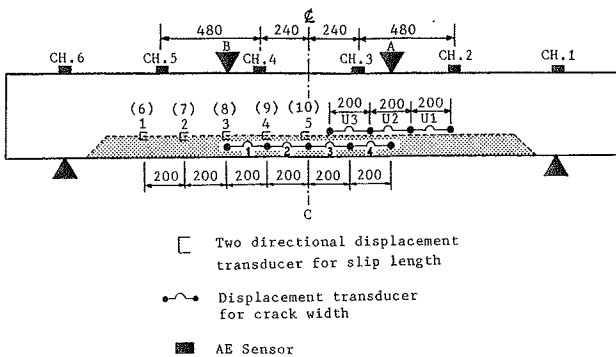


図1 補修した鉄筋コンクリート供試体と各種センサの取付位置

案されている。これは、再載荷時に 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。表 1 に繰り返し載荷過程で得た CBI 比がまとめられている。それによると、4 回目の載荷で接合面で大規模なすべりが発生して以後、5 回目の載荷以降はこの値が 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 比は更に小さな値をとり、除荷時にも大量の AE 信号が検出されるようになる。

表 1 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	CH2 (hit)	CH3 (hit)	CH4 (hit)	CH5 (hit)	CH1~6 (hit)	CH1~6 (energy)
2nd	1.25	—	1.25	—	1.25	1.25
3rd	1.16	1.16	1.16	—	1.16	1.16
4th	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
5th	0.69	0.69	0.69	1.00	0.69	0.69
6th	0.53	0.53	0.53	0.80	0.53	0.53
7th	0.68	0.40	0.50	0.68	0.40	0.25

一方、既往のモーメントテンソル解析結果<sup>7)</sup>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 を超え、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、以後の再載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。したがって、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す一般的な指標になり得ると考えられる。

## 2.2. 栈橋の健全性診断

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<sup>15)</sup>が報告されている。川崎にある経年劣化した栈橋上を図 2 に示すごとく、荷重の異なるダンプトラックを往復させたときに 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、極めて多量の AE 信号が検出された。図 3 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, 113kN; 半載, 142kN; 全載, 171kN) を往復させたときに計測された AE ヒット信号計数率を、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

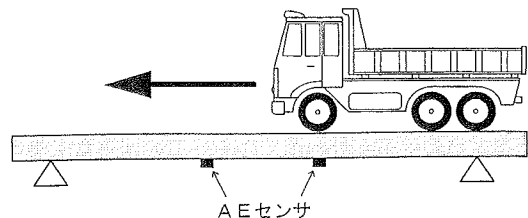


図 2 荷重の異なるダンプトラックの往復による鉄筋コンクリートはりの載荷試験

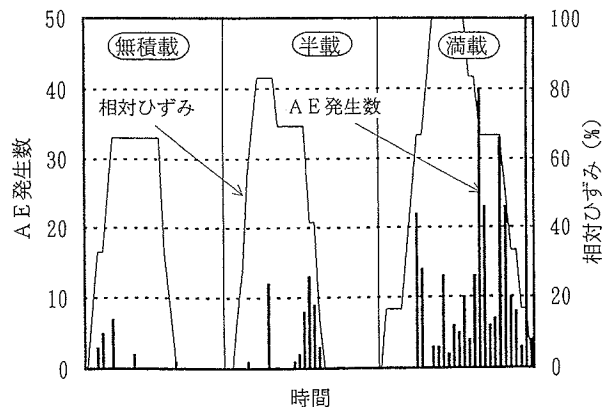


図 3 AE 信号計数率と主鉄筋ひずみ量の各載荷過程における履歴

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<sup>17), 18)</sup>、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<sup>19)</sup>が非破壊検査協会<sup>20)</sup>などで検討されている。

### 3. RC床版の健全性診断

道路橋鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)の損傷過程を把握する点検手法として、各種非破壊検査の適用が試みられている。損傷評価に非破壊検査を適用する目的は、ひび割れ密度による表面的な情報に加え、内部の情報を把握することで損傷度評価の精度を向上させることにある。しかしながら、現状で適用されている非破壊検査法は、RC床版の損傷度との関係が明確にされていないため、損傷度評価の精度向上ではなく、参考値としての適用にとどまっている。そこで、各種非破壊検査法のうち、コンクリート内部のひび割れ損傷を実時間で監視できるAE法に着目し、繰り返し載荷時、および疲労荷重下において、RC床版の損傷度とAE発生との関係が調査されている。

#### 3.1 繰り返し載荷試験時の損傷評価

図4に示されるRCモデル床版に対して、繰り返し載荷試験を行い、AE法、およびAE/UT法(コンクリート表面に取り付けたパルサに電気信号を入力することにより弾性波を発生させ、コンクリート内を伝播した後の波動をAEセンサで検出し、パラメータ解析を行う)を用いて劣化損傷の進行程度を評価した事例<sup>21)</sup>が報告されている。

それによると、最大荷重値を増加させて行った繰り返し載荷試験において、AEヒット数、振幅値などで表されるAE活動度は、供試体の損傷進行とともに増加することが示された。したがって、これらのパラメータをモニターすることにより、損傷進行程度を評価可能と考えられる。

表2に、各載荷段階での最大荷重値、AE発生時の荷重、CBI比、および供試体中央部の最大たわみをまとめている。これより明らかなように、第3回載荷以降カイザー効果は存在せず、損傷部の拡大とともにCBI比が徐々に小さくなる傾向が見られる。したがって、CBI比はコンクリート構

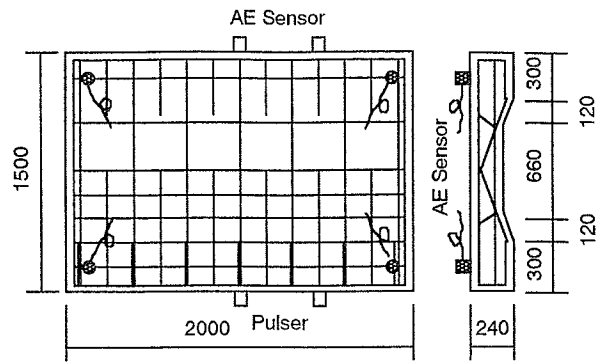


図4 モデル鉄筋コンクリート床版とAEセンサ配置

表2 各載荷における最大荷重とCBI比、および最大たわみの変化

載荷段階(回)	最大荷重(kN)	AE発生時の荷重(kN)	CBI比	最大たわみ(mm)
1	100	—	—	2.5
2	200	100	1.00	4.3
3	275	130	0.65	6.3
4	400	160	0.58	8.0
5	450	80	0.20	13.2

造物の健全度を表す一般的な指標になり得ることが理解される。

図5に、AE/UT試験で得た、各載荷段階における最大荷重時(ただし処女供試体の場合は0)に計測されたAEエネルギー値(包絡線検波波形の相対面積の大きさで定義)と、このとき載荷された最大荷重値との関係を示す。図から明らかなように、第3回載荷に至るまで計測されたAEエネルギー値は減少し続ける。しかしながら第4回および第5回載荷で計測した値には、あまり差が見られない。したがって、第3回載荷時までは弾性波の伝播に影響を及ぼさずひび割れ発生・進展などの損傷が供試体の載荷部から計測領域内を進行するが、それ以降の載荷では、すでに損傷進行部位が計測領域を通過したため、AE波の伝播特性に大きな変化を生じさせなくなったものと考えられる。以上の結果から、パルサおよびセンサを適切に配置することにより、各載荷段階で生ずる損傷進行部の位置をある程度評価可能になると推察される。また、AE法およびAE/UT法で評価した損傷進行程度は、両者でよく一致していることが確認された。したがって、同一の試験でこれらを併用することにより、信頼性の高い診断が行えるものと考えられる。

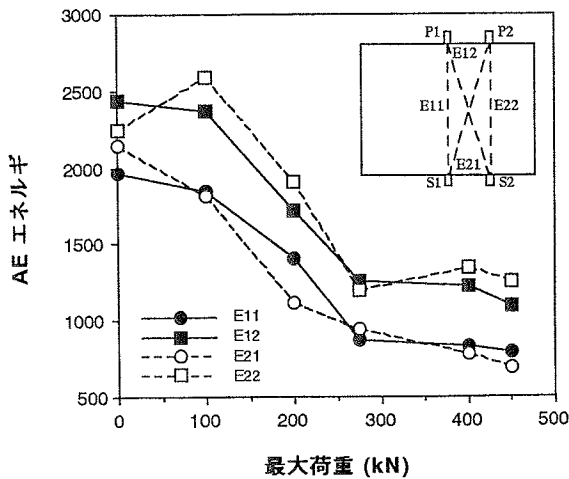


図5 各載荷段階の最大荷重とそのとき計測されたAEエネルギーとの関係

### 3.2 疲労損傷評価

モデル試験として図4に示されるRC床版に対して、疲労試験を行った<sup>22)</sup>。疲労荷重は、電気油圧サーボ式疲労試験機を用い、荷重制御による一点集中、片振り圧縮で載荷した。ここで疲労荷重の最大値は150kNから270kNまで段階的に増加させた。図4中には、AEセンサ取付位置が示されている。

図6に荷重繰り返し数と、ひび割れ密度との関係を示す。ここで、ひび割れ密度とは、変状分布図をもとに、格子密度法により1m<sup>2</sup>あたりのひび割れ長さを算出した値である。

図から明らかなように、ひび割れの進展は、荷重繰り返し数0～10<sup>5</sup>において、初期ひび割れの発生から、急速なひび割れ進展の生じる第I段階、繰り返し数10<sup>5</sup>～4×10<sup>5</sup>において、ひび割れ進展がほとんど見られない安定的な第II段階、繰り返し数4～8×10<sup>5</sup>において、ほぼ一定の速度でひび割れ密度の増加する第III段階（荷重最大値は、第I、II段階の150kNから200～225kNへ増加している。）、そして8×10<sup>5</sup>から急速に密度が増加し、最終破壊に至る第IV段階に分けられる。

図7に、荷重繰り返し数に対するAEヒット計数率および振幅値の履歴が、荷重最大値の変化とともに示されている。ひび割れ進展の第I段階において、初期ひび割れの発生と

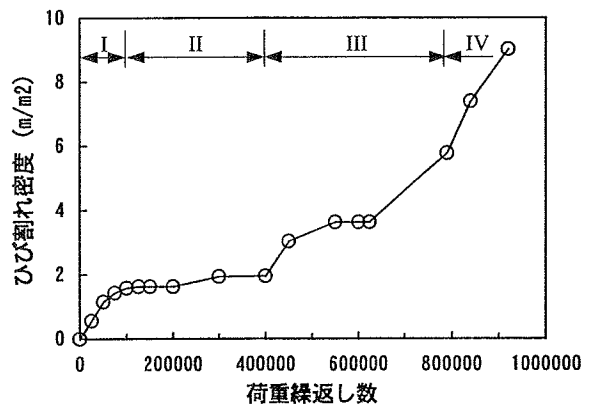


図6 荷重繰り返し数とひび割れ密度との関係

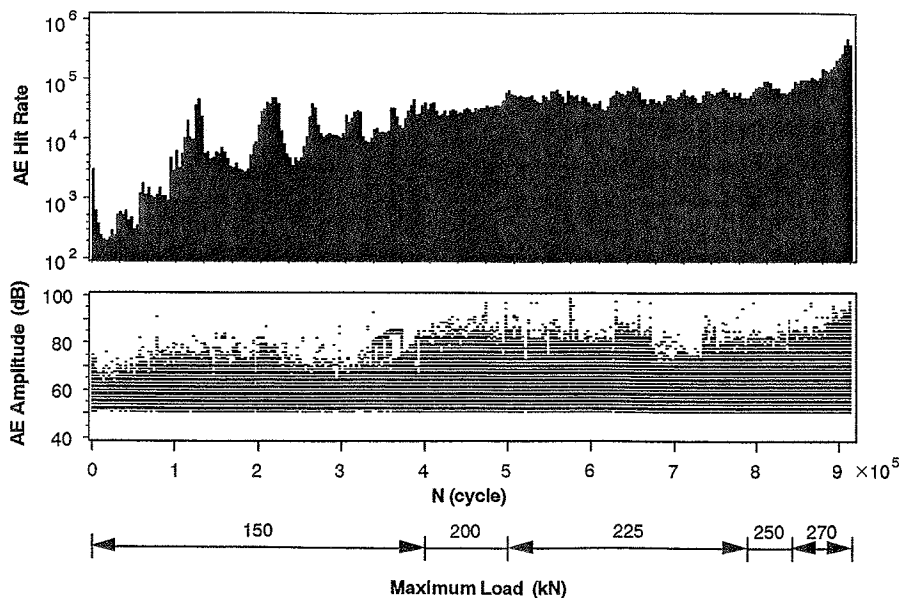


図7 荷重繰り返し数に対するAEヒット計数率および振幅値の履歴

もに大きな AE 活動度（ヒット信号検出数）が観察されるが、やがて低下し、その後ひび割れ密度の増加とともに AE 活動度も増加する。第 II 段階では、AE 活動度に増減はあるものの、全体的にはゆるやかに増加し、第 III 段階ではほぼ一定の活動度が観察される。第 IV 段階に入ると最終破壊（繰り返し数  $9.17 \times 10^5$  回）の直前、 $8.8 \times 10^5$  回付近より、活動度は急速に増加する。このことから、AE 信号をモニターすることにより、その活動度が安定的な状態から急速に増加し始める時点をもって、疲労荷重下における最終破壊（第 III 段階から第 IV 段階への遷移）過程を予測・評価できる可能性のあることが理解される。

また、この試験において AE 発生源の二次元位置標定により、ひび割れが最初に供試体の中央から集中的に発生し、その後徐々に周辺部へ進展する過程をモニターできることが明らかになった。さらに、荷重位相と AE 発生挙動との関係を解析することにより、劣化が進行し最終破壊に至る過程を評価できる可能性のあることが示されている。

また、図 8 に模式的に示すように、供用開始後約 27 年経過した実高架橋のコンクリート床版口、およびハに対して、通常交通下で AE 計測が行われている。床版は、 $4.8\text{m} \times 3.4\text{m}$  の寸法を持ち、板厚は  $180\text{mm}$  で表面に厚さ  $60\text{mm}$  のアスファルト舗装が施してある。また床版の表面側には、中央分離帯が設置されている。この計測では、2 時間連続的に AE 信号の検出を行った。

AE 計測結果によると、同じ活荷重下にもかかわらず、損傷の大きな床版口の場合の方が、より小さな床版ハに比べ、検出した AE エネルギー値が約 15% 程度大きかった。ひび割れ密度の目視観察結果を、図 6 に示されるモデル試験の結果と対照した場合、床版ハは損傷進行の第 I 段階中期に、また口は、第 I 段階の後期に対応していた。したがって、検出エネルギー値の差は、床版間における損傷程度の違いを反映したものであると考えられた。

また、大型旅客機のゴムタイヤを装着した移動載荷試験機により、建設後 34 年が経過したランプ部の橋梁から切り出した RC 床版に対して走行疲労試験が行われ、AE が計測されている<sup>23)</sup>。載荷荷重は、道路橋示方書による設計荷重  $Pr = 100\text{kN}$  から開始し、 $240\text{kN}$  まで段階的に増加させた。

図 9 に、首都高速道路公団における床版損傷ランクが B1 から A へと遷移する段階で行われた静的載荷試験中に検出された AE ヒット計数率と、供試体下面中心点で計測された変位量の履歴が示されている。載荷は、 $0\text{kN} \rightarrow 50\text{kN} \rightarrow 100\text{kN} \rightarrow 150\text{kN} \rightarrow 180\text{kN}$  と段階的に行われ、また除荷も同様に、除荷、保持を繰り返し段階的に実施された。図 9 に示

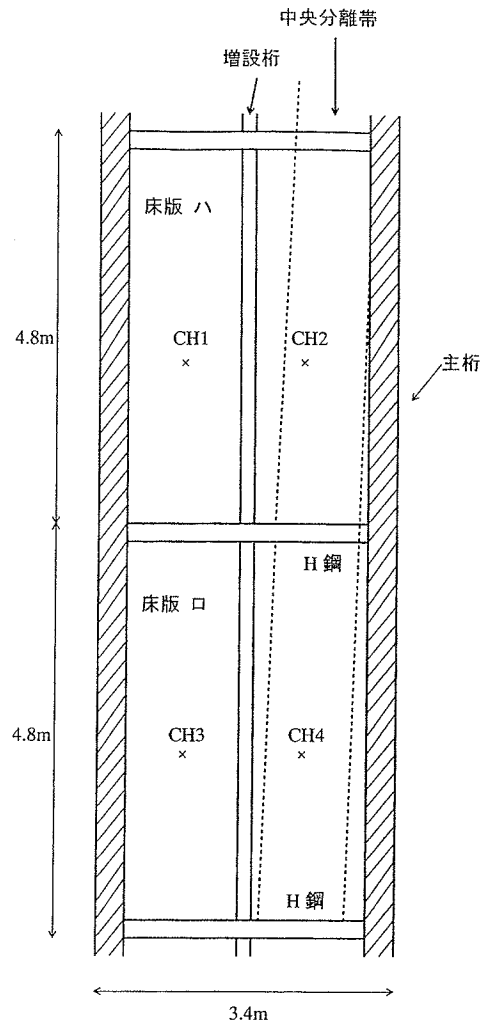


図 8 実高架橋の床版における AE 計測（模式図）

されるように、 $50\text{kN}$  への載荷時から荷重増加時に多くの AE 信号が検出され、載荷中において最大ヒット計数率は 130 以上にまで至っている。さらに除荷時にも同程度の AE 活動度が観察される。同様の計測は、異なる損傷程度、すなわち損傷ランク B2、A でも行われた。その結果、損傷が B2 → B1 → A と進行するのに伴い、載荷中に検出される最大 AE ヒット計数率は、 $50 \rightarrow 130 \rightarrow 270$  と変化し、また除荷時に検出される計数率も  $10 \rightarrow 120 \rightarrow 250$  と変化することが示された。したがって、ヒット計数率は、RC 床版の劣化進行を表す有効な指標になり得るものと考えられる。なお、この試験中に検出された AE 信号の発生源は、載荷時および除荷時とも既存ひび割れの開閉など摩擦による機械的要因が主なものとされ、更に損傷が進行すると、鉄筋とコンクリートのすべりなどの発生源も考慮する必要があると考えられる。

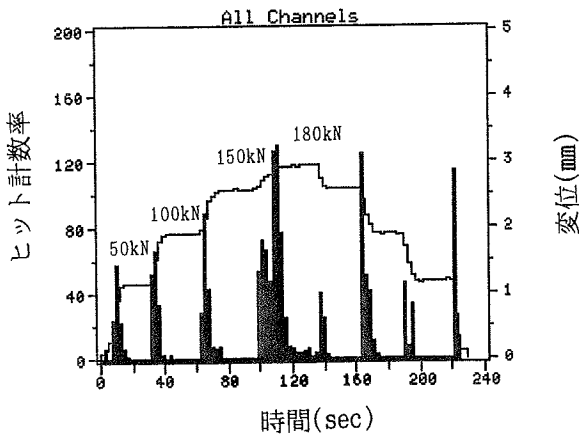


図9 AEヒット計数率と変位量の履歴

#### 4. RC柱の健全性診断

先の阪神・淡路大震災において、橋脚や開削トンネルの構造部材となる多くのRC柱が甚大な被害を受けた。震害を被った構造物の健全性を診断し、危険度の評価や補修あるいは補強など事後対策の必要性を判断することは重要であり、客観的かつ定量的な検査手法の開発が望まれている。

これまで実際にRC柱の診断にAE法およびAE/UT法が用いられた事例として、RC柱の水平交番載荷時における試験<sup>24), 25)</sup>がある。

図10に試験に用いた供試体の形状と、AEセンサおよびパルサの位置を示す<sup>24)</sup>。供試体は高さ1.7m、寸法0.4×0.4mの矩形RC柱と基礎部から構成される。

図11に荷重、AEヒット計数率、ヒット数、および振幅値の履歴を示す。荷重および目視観察結果から得た損傷の進行過程と比べることにより、曲げひび割れ発生時、せん断ひび割れ発生時、そして主筋降伏時にAEヒット計数率が急増し、また大きな振幅値を持つAE信号が多数検出されているのが確認された。このようにAE発生挙動は、RC柱の損傷発生を敏感に検出する。したがって、AEパラメータ解析を行うことにより、損傷の発生を検知し、進行をモニターできると考えられる。

図12に、AE/UT試験において、部材変形角で表される損傷段階と、AEエネルギー検出率(載荷中断時にパルサへの電気信号入力で検出したAEエネルギー値を、試験開始前の健全(無損傷)供試体で検出したAEエネルギー値で除すことにより規格化した値)との関係を示す<sup>25)</sup>。図中では、AE波の伝播方向が加力方向と平行な場合および直交する場合に分け、基礎部からの柱軸方向高さごとに結果が与えられて

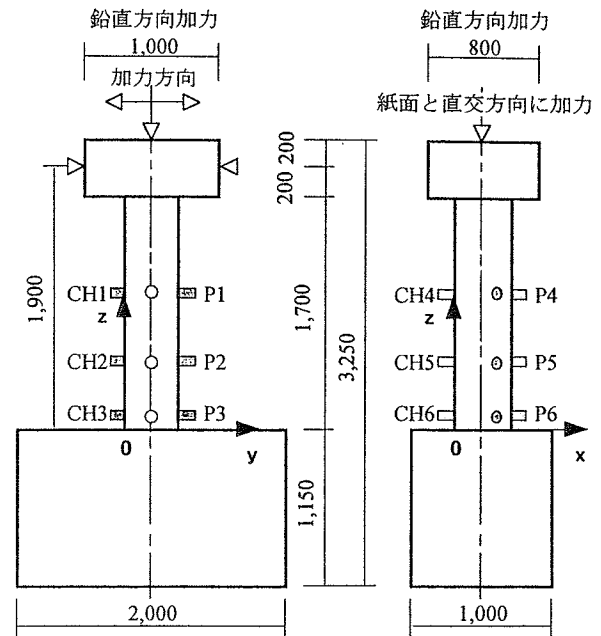


図10 供試体の形状とAEセンサおよびパルサの位置

いる。いずれの場合も、変形角が $1/100\text{rad}$ を超えるあたり、すなわちせん断ひび割れが発生して以降急速にエネルギー検出率が低下し、やがてAE波はほとんど到達しなくなる。これは、せん断ひび割れの発生した後に、RC柱全体に損傷が進行することでAE波伝播特性が変化し、AEエネルギーの透過量が減少することによって考えられる。このように、AE/UT法を用いることにより、せん断ひび割れの発生を検出し、さらに続いて起こる損傷進行をモニター可能なことが確認された。

#### 5. おわりに

海外における事例を参照するまでもなく、最近の経済事情からすれば、インフラストラクチャーを建設するときに、「建設のみ」を考える時代は終わり、建設と同時に、すでに建設されたものをいかにして少しでも長く使用するかを考える・・・すなわちライフサイクル長期化の時代へと転換しつつある。このとき、構造物の劣化度を評価し、合理的な維持管理を行うための情報を与え得る技術の確立が必要不可欠になる。コンクリート内部で発生するひび割れを敏感に検出することができ、さらにその発生位置を特定化し、また変動荷重下など動的環境下でこれら欠陥の監視を可能にするAE法は、その特徴を利用し、維持管理あるいは施工管理の様々な分野で適用されつつある。とりわけこの

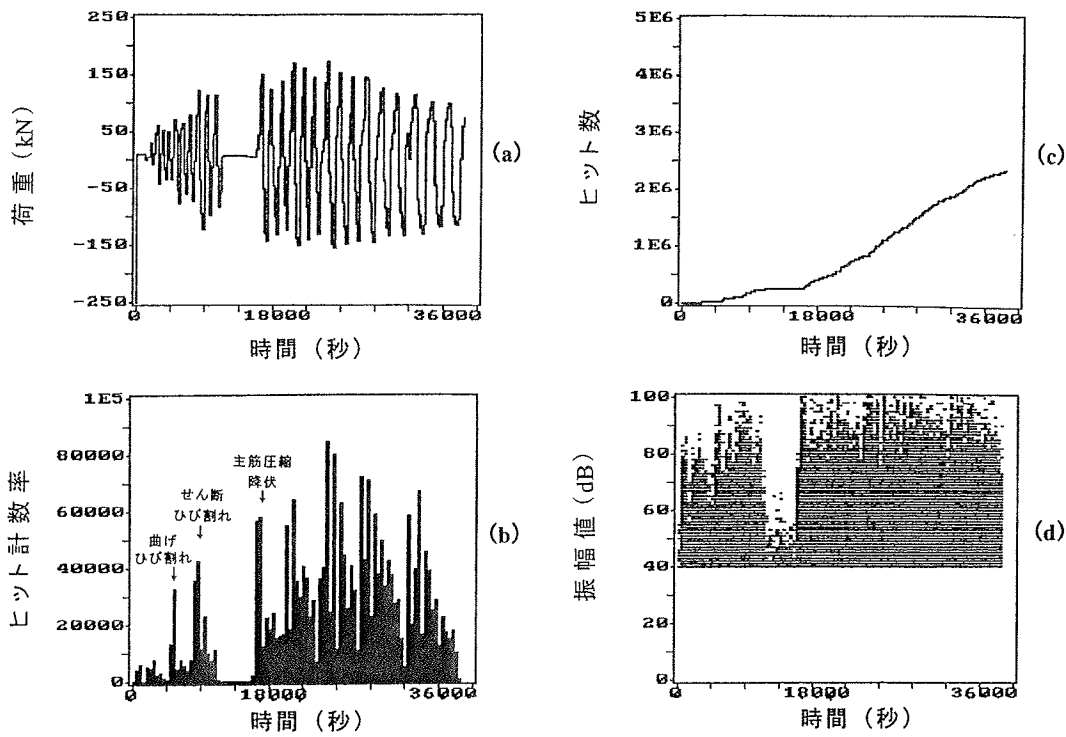


図11 荷重 (a), AE ヒット計数率 (b), ヒット数 (c) および振幅値 (d) の履歴

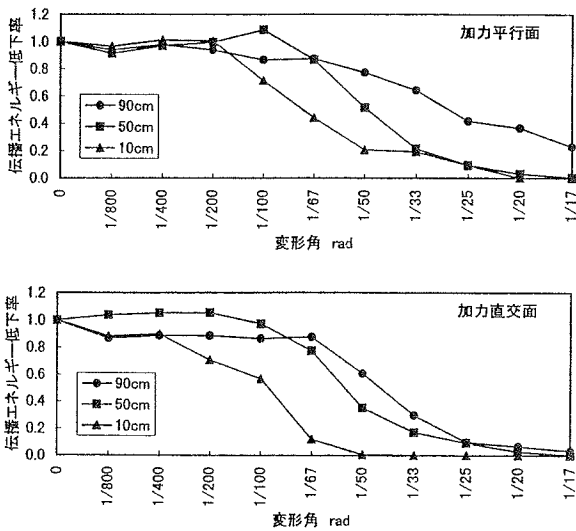


図12 部材変形角で表される損傷段階とAEエネルギー検出率との関係

十年間における技術の発達が目ざましく、ひび割れの定量的評価法としてのモーメント・テンソル解析法の確立、構造物の健全性診断法としてのCBI比の提案など、今後AE法を実構造物に適用していくうえで、基礎情報を与える重要な技術的発展が見られた。

現在、コンクリートの劣化、および欠陥を評価する検査法としては、AE法のほかに、目視検査、打音法、超音波法、X線法、レーダー法、赤外線法などがある。これらは、いずれもその適用性、あるいは信頼性に一長一短があり、それのみで完全な評価を行うことのできる検査法は存在しない。AE法は、動的環境中において実時間で欠陥の成長を検出でき、またその位置をある程度特定化し得る、という特徴を持つ。したがって、他の検査法と組み合わせ、総合的に判断することで、より確度の高いコンクリート構造物の健全性評価を行うことが可能となり、維持管理および施工管理のために有用な情報を得ることができるようになると考えられる。

### 参考文献

- 1) 大津政康：アコースティック・エミッションの特性と理論、森北出版(株)、(1988)
- 2) Acoustic emission examination of metallic vessels during pressure testing, Article 12, Subsection A, Section V, Boiler and Pressure Vessel Code (December 1988 Addendum and later editions), ASME
- 3) Acoustic emission examination of fiber-reinforced plastic vessels, Article 11, Subsection A, Section V, Boiler and Pressure Vessel Code (1983 and later editions), ASME

- 4) 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)
- 5) 重石光弘，大津政康：コンクリート構造物へのAE逆解析の適用，コンクリート工学年次論文報告集，11(1)，pp.311-316，(1989)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 湯山茂徳，李 正旺，大沢 勇，金原 勲，影山和郎：繊維シート補強はりのAEモーメントテンソル解析による破壊過程および補強効果の定量的評価，土木学会論文集，No.620 / V-43，pp.279-289，(1999年 5月)
- 9) 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(日本非破壊検査協会)，pp.143-150，(1993年11月11日，12日)，(沖繩)
- 10) 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，土木学会構造工学委員会，pp.139-144，(1991)
- 11) 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)
- 12) S.Yuyama, T.Okamoto and S.Nagataki : Acoustic Emission Evaluation of Structural Integrity in Repaired Reinforced Concrete Beams, Materials Evaluation, 52(1), pp.86-90, (1994)
- 13) 村上祐治，堤 知明，松島 学，湯山茂徳：鉄筋腐食により劣化したRCはりのAEモーメントテンソル解析，第10回AE総合コンファレンス論文集(日本非破壊検査協会)，pp.171-176，(1995年11月9日，10日)，(高知)
- 14) S.Yuyama, T. Okamoto, M. Shigeishi, and M. Ohtsu, : Acoustic Emission Generated in Corners of Reinforced Concrete Rigid Frame under Cyclic Loading, Materials Evaluation, 53(3), Mar., pp.409-412, (1995)
- 15) 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)
- 16) 峰村 修，坂田 昇，湯山茂徳，岡本享久，丸山久一：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ティング時におけるAE法適用性の検討，土木学会論文集，No.634/V-45，pp.103-112，(1999年 11月)
- 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) T. Shiotani, N. Sakaino, M. Shigeishi, M. Ohtsu, Y. Asai and T. Hayashi, : AE Characteristic of Full - scale Concrete-piles under Bending and Shear Load, Proc. 6th Intern. Symp. AE from Compos. Mat., pp.163-172, June 1-4, (1998), San Antonio, Texas, USA.
- 19) S. Yuyama, T. Okamoto, M. Shigeishi, M. Ohtsu and T. Kishi : A Proposed Standard for Evaluating Structural Integrity of Reinforced Concrete Beams by Acoustic Emission, Acoustic Emission : Standards and Technology Update, ASTM, STP 1353, S. J. Vahaviolos, Ed., American Society for Testing and Materials, pp.25-40, (1999)
- 20) 大津政康，湯山茂徳：コンクリート構造物のアコースティック・エミッション試験方法に関するNDI規格(NDIS2421)について，第12回AE総合コンファレンス論文集(日本非破壊検査協会)，pp.71-76，(1999年11月18日，19日)，東京都立大学
- 21) 友清 剛，吉沢 勝，湯山茂徳，魚本健人：AE法およびAE/UT法による鉄筋コンクリート床版の劣化損傷評価，コンクリート工学年次論文報告集，21(2)，pp.1237-1242，(1999)
- 22) 湯山茂徳，李 正旺，友清 剛，吉沢 勝，魚本健人：AE法による鉄筋コンクリート床版の疲労損傷評価，土木学会論文集，No.627 / V-44，pp.251-259，(1999年 8月)
- 23) 井野勝彦，内藤浩治，横山 広，湯山茂徳：走行疲労試験における道路橋床版のAE特性，1998年度土木学会講演集
- 24) 湯山茂徳，李 正旺，伊東良浩，荒添正棋：AE法およびAE/UT法によるRC柱の水平交番載荷試験における損傷評価，コンクリート工学年次論文報告集，21(3)，pp.613-618，(1999)
- 25) 伊東良浩，木村宗稔，湯山茂徳，李 正旺：柱水平交番載荷におけるAE/UT法および打音法による柱の損傷進行の評価，構造物の診断に関するシンポジウム(土木学会構造工学委員会)，pp.145-150，(1998)



湯山 茂徳 日本フィジカルアコースティクス(株) (150-0011 東京都渋谷区東2-17-10岡本LKビル8階)代表取締役  
1982年東京大学大学院修了，工学博士(金属材料学)，1983年現社設立，各種構造物のAE試験を行う。1999年コンクリート診断学で熊本大学より博士(学術)を授与される。  
<趣味>フルート演奏，芸術鑑賞，溪流釣り



岡本 享久 太平洋セメント(株) (135-8410 東京都江東区清澄1-2-23)清澄研究所・ジェネラルマネージャー  
1975年広島大学工学研究科修了。同年広島大学工学部助手，東京工業大学を経て，1990年より現職。コンクリート構造が専門。景観，維持・補修，緑化などの研究歴もあり。  
<趣味>溪流釣り，ゴルフ，山歩き