

## コンクリート材料における AE の計測

Measurements of Acoustic Emission in Concrete Materials

李 孝雄\*・趙 力采\*\*・鳥飼安生\*・小林一輔\*\*

Hyo-Ung LI, Ryok-Che CHO, Yasuo TORIKAI and Kazusuke KOBAYASHI

## 1. はじめに

物体が変形、破壊するさいに生じる Acoustic Emission は材料の破壊力学の新しい研究手段として注目されており、圧力容器などの金属構造物の健全性を診断する技術<sup>1)</sup> はめざましいものがある。この技術を土木の分野にまで広げてトンネル、ダムなどのコンクリート構造物に適用することにより、これら構造物の欠陥個所の標定、安全性が評価できればこの分野での寄与は大きい。しかし AE の発生は対象とする材料の特性、破壊機構などによって大きな影響を受けるので AE を利用するにあたっては諸材料の AE 特性を予め把握しておくことは測定結果を正しく評価するのに不可欠のことである。これまでにコンクリート材料に AE を適用した報告<sup>2)</sup> は金属材料に較べてはるかに少ない。

筆者らはコンクリート材料の荷重変形特性と AE 特性との関係、すなわち、ひびわれの発生と進展ならびにその発生源などを明らかにする目的で共同研究を進めている。本文ではコンクリート材料の曲げ荷重による AE の発生率、累積数および振幅分布などの AE 特性の計測を行なった結果について報告する。

## 2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は70×70×400mmの寸法で、モルタル、コンクリート、鋼繊維補強コンクリートの3種類であり、その配合成分の容積比を Table 1 に示す。砂は標準砂を用い、鋼繊維(0.5φ×30mm)の混入率は容積比で1%である。試料の50 KHz のパルス透過法による音速を測定した結果を Table 2 に示す。

曲げ試験には容量5トンのインストロン型の東京試験

Table 1 Composition of Specimens

	Mortar	Concrete	Steel RF Concrete
Water	0.3472	0.1980	0.2200
Cement	0.2459	0.1400	0.1401
Sand	0.4069	0.2320	0.5119
Gravel Ratio		0.4300	0.1280
W/C	45%	45%	50%

\* 東京大学生産技術研究所 第1部  
\*\* " " 第5部

Table 2 Velocity of Longitudinal Waves in m/s.

Mortar		Concrete		Steel RF Concrete	
Na 1	Na 2	Na 1	Na 2	Na 1	Na 2
3990	4000	4640	4650	4180	4170

機製の試験機を用い、クロスヘッドの速さを0.5~0.1mm/minの範囲に選び、3等分点荷重方法(スパン30cm)で荷重した。荷重部からの雑音の発生を抑えるために荷重部の下にゴム板を挿入した。

実験に用いた装置のブロック図を Fig. 1 に示す。AE

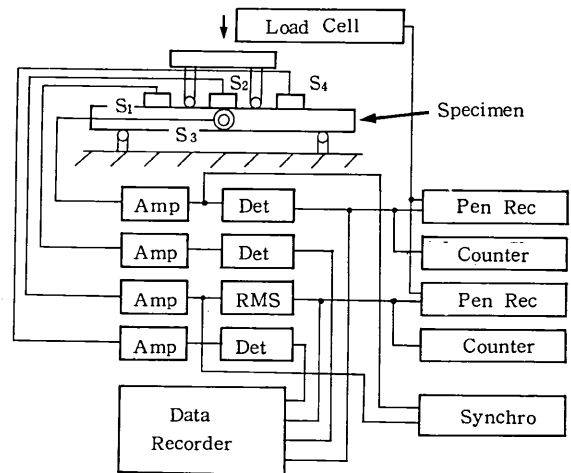


Fig. 1 Block Diagram of Measuring System

信号の検出は帝通製の300 KHzに共振をもつ半径モードのAE用のセンサー3個(S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub>)および試料に取付時の共振が20 KHzにあるリオン製の加速度型振動ピックアップ(S<sub>3</sub>)の4チャンネルで行なった。S<sub>1</sub>の出力は同調アンプ(80 dB), S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub>の出力はプリアンプ(50 dB)およびメインアンプ(42 dB), S<sub>3</sub>の出力はアンプ代りに用いた真空管電圧計(55 dB)を経てエンベロープ検波およびRMS電圧にしたAE信号をデータレコーダーに収録する一方、ペンレコーダーで記録した。エンベロープ検波した出力(AE事象)をデジタルカウンターのしきい値レベルを変えてAE事象の発生率、累積数および振幅分布を求めることができる。

3. 実験結果および考察

3-1 モルタル

Fig. 2 はモルタル試料の荷重の途中から破断に至るあいだのセンサー S<sub>3</sub> による AE の発生状況と荷重の状態を示したものである。AE 信号は破壊強度の数%程度から検出されるようになり、荷重の増加につれて発生率は

ほぼ一定の値を保ったのち、破壊強度の80%付近から増大して破断に至る例が多かった。試料の破壊強度にたいする AE の発生率と累積数の例を Fig. 3 に示す。図の中でセンサー S<sub>2</sub> の発生率が低いのは試料とセンサーの接着の不良によるものである。Fig. 4 は荷重の始めから破断に至るまでの時間を5等分した各ステップにおける AE の振幅分布の変化をデータレコーダを再生した Fig.

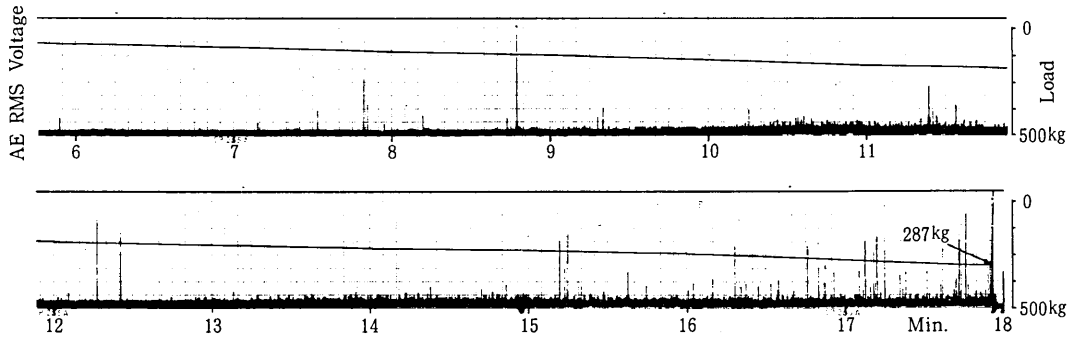


Fig.2 RMS Voltage of Acoustic Emission and Load as a Function of Time During Bending Test in Mortar Specimen (Crosshead Speed:0.1mm/min, Sensor:S<sub>3</sub>)

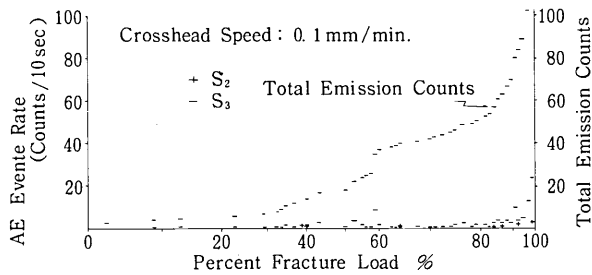


Fig.3 Acoustic Emission Characteristics in Mortar Specimen

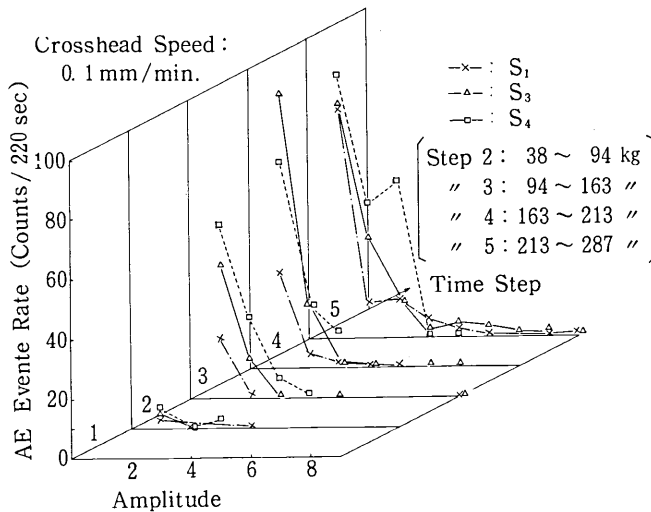


Fig.4 Amplitude Distribution of Acoustic Emission in Mortar Specimen

2の記録紙のAEの振幅から求めたものである。ステップ1はレコーダーによるデータの収録は行っていないが、各センサーともに荷重が増大するにつれてAEの振幅と数が増大するのがよくわかる。センサーS<sub>3</sub>は加速度計による記録であり、各センサーの感度校正は行っていないがFig.7に示すコンクリートの場合のセンサーS<sub>3</sub>の振幅分布と比較して低周波成分の多いのがわかる。

3-2 コンクリート

Fig.5およびFig.6にクロスヘッドの速さを0.1mm/

minにしたコンクリート試料におけるAEの発生状況とAEの発生率の様子を示す。当然のことながら破断時の荷重はモルタルに較べて高い。AE信号は破壊強度の10%以下のレベルから検出されるようになり、発生率はモルタルの場合とほぼ同様の傾向を示すが発生率の値はモルタルに較べて低い。Fig.7にコンクリートの場合の振幅分布を示す(ステップ1,2はレコーダーによるデータの収録を行っていない)。ステップ5の荷重の最終段階に入ると振幅の大きいAEの発生が目立つようになる。

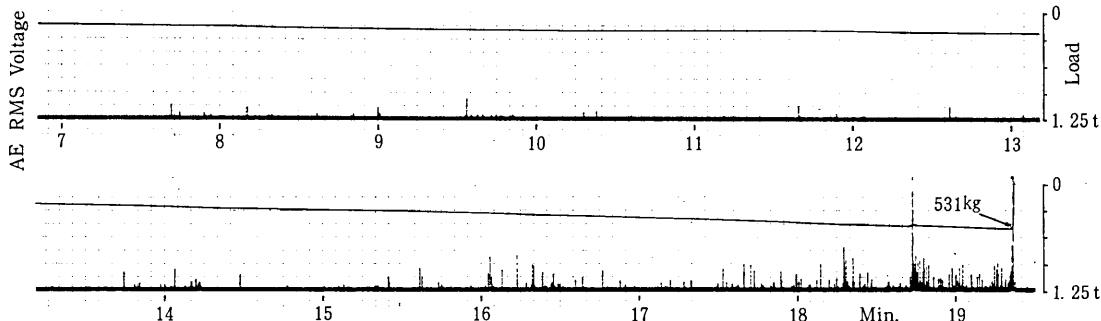


Fig.5 RMS Voltage of Acoustic Emission and Load as a Function of Time During Bending Test in Concrete Specimen (Crosshead Speed: 0.1 mm/min, Sensor: S<sub>2</sub>)

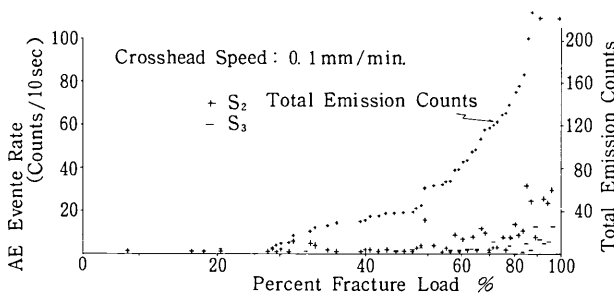


Fig.6 Acoustic Emission Characteristics in Concrete Specimen

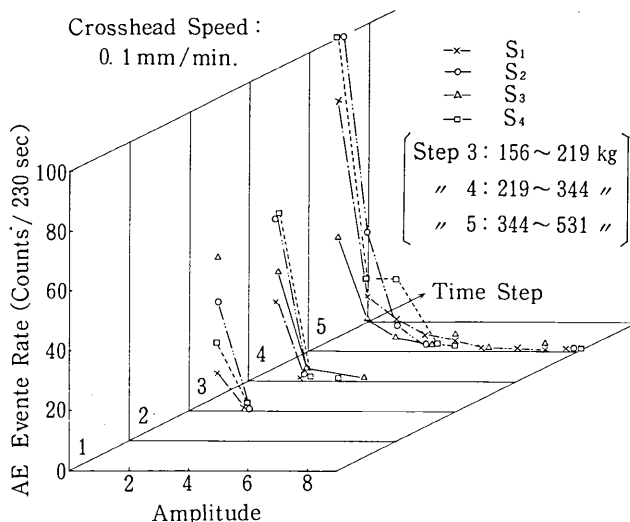


Fig.7 Amplitude Distribution of Acoustic Emission in Concrete Specimen

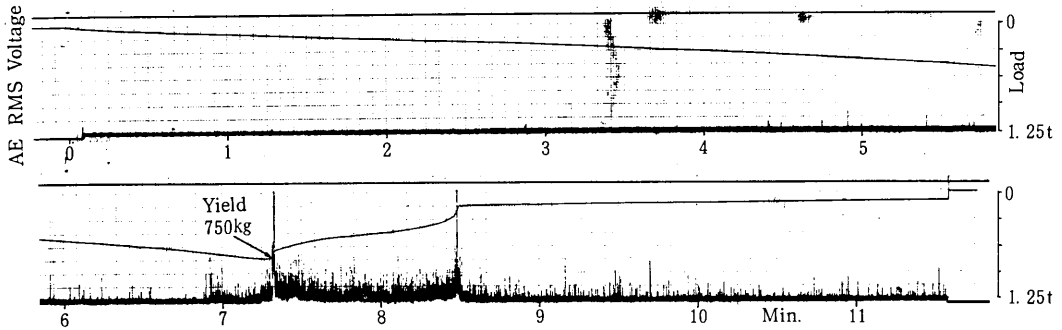


Fig.8 RMS Voltage of Acoustic Emission and Load as a Function of Time During Bending Test in Steel RF Concrete (Crosshead Speed: 0.25 mm / min, Sensor: S<sub>1</sub>)

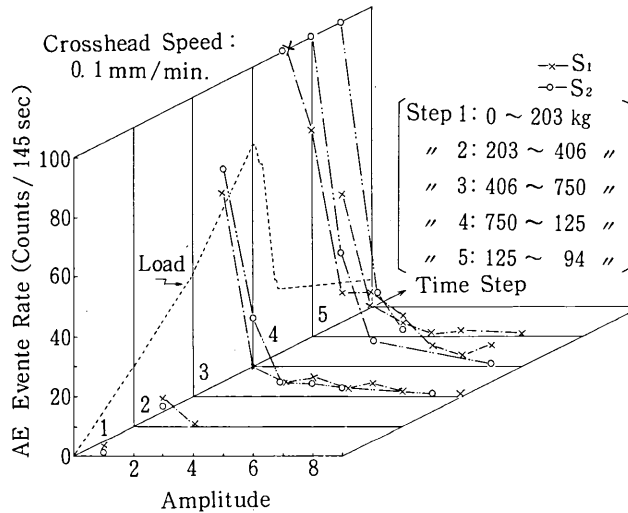


Fig.9 Amplitude Distribution of Acoustic Emission in Steel RF Concrete Specimen

3-3 鋼繊維補強コンクリート

ひびわれにたいする抵抗性を大きくするために短い鋼繊維をコンクリートマトリックス中に分散させた鋼繊維補強コンクリートのAEの発生状況を Fig.8 に示す。この場合のAEの計測はセンサー S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> の2チャンネルで行ない、クロスヘッドの速さは 0.25mm / min とモルタル、コンクリートに較べて 2.5 倍速いが AE の発生状況はかなり異なっている。AE 信号は破壊強度の 5 ~ 6 % 程度の荷重から検出され始め、やがて発生率のほぼ同じ区間が続き、70 % 付近から急増して行き試料はクラックを生じて降伏する。しかし、すぐには破断しないで鋼繊維が母材から引抜かれながら荷重に抵抗するために発生率が非常に高くなる区間があるのが特徴的である。なお、当然のことながら AE の発生率が急増する付近の曲げ荷重 (~ 525kg) はコンクリート (~ 452kg) に比して高くなる。この場合の振幅分布の例を Fig.9 に示す。ステップ 3 の区間の終りで試料は降伏し、その後も盛んに AE を発生するのが認められる。

以上、曲げ荷重におけるコンクリート材料の AE 特性

に関する 2, 3 の実験を行ない、試料の破壊強度の数% という低い荷重のレベルで生じる試料の損傷を受けた部分からの AE 信号を検出することが可能であること、破壊強度の 70 ~ 80 % 程度から AE 信号は急増して破壊に至ることが確認できた。

現在のところ、コンクリート材料中の AE のメカニズムにたいするはっきりとした理論はないが、今回の実験を通してコンクリート材料内部でのひびわれなどの損傷と AE は密接な関係があることがわかった。AE 特性はその発生機構、試料中の伝搬特性、AE を検出するセンサーの能力によっても影響を受けるのでこの面からもきめ細かい測定を行なう必要がある。(1977年9月27日受理)

参 考 文 献

- 1) 尾上守夫ほか：アコースティック・エミッションの基礎と応用，コロナ社
- 2) 例えば W.M. Mc CABE ほか：ACI JOURNAL, JULY (1976) 367