

# 疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の AE 特性に関する研究

Acoustic Emission of Reinforced Concrete Beams Subjected to Fatigue Load

魚 本 健 人\*・小 林 一 輔\*・柿 沢 忠 弘\*・山 本 貞 明\*

Taketo UOMOTO, Kazusuke KOBAYASHI, Tadahiro KAKIZAWA and Sadaaki YAMAMOTO

## 1. は し が き

近年、コンクリート構造物の劣化問題は、我が国のみならず他の先進諸外国においても大きな問題となっている。安定成長時代へと移行した今日、現存するコンクリート構造物をより長期間使用できるよう、維持管理することが重要となってきているからである。

コンクリート構造物が劣化する原因としては多くのものが存在するが、道路橋や鉄道橋の場合には、疲労荷重が最も大きな原因となっている。特に近年の交通量は大きく、既存の橋梁には設計当初の荷重よりも遙かに多くの繰り返し交通荷重が作用しており、また、車両の大型化により個々の荷重も大きくなっている。

このような構造物の劣化を早期に発見し、対処する場合、対象とする構造物の使用を一時的にも中断することなく非破壊的に検査し、対処できることが望ましい。また、コンクリート構造物の劣化度を検査する方法としては種々のものが考えられるが、疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物に適用できる方法はあまりないのが現状である。

以上のことを考慮して、本研究は、アコースティックエミッション (AE) 計測によるコンクリート構造物の劣化度判定の可能性を調べることを目的として実施したものである。本報告では、疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の AE 特性を実験的に明らかにするとともに、AE 計測による劣化度判定を行う場合の基本的な考え方について検討した。

## 2. 実 験 概 要

実験に使用した試験体は図 1 に示すような鉄筋コンクリート梁で、断面は 10×20 cm、スパン 1.70 m である。引張鉄筋として D 16 を 2 本、圧縮鉄筋として D 6 を 2 本、また、スターラップとして D 6 の鉄筋を使用した。なお、いずれの鉄筋も SD 30 である。

荷重は図 1 に示すように、a/d が 3.43 の 2 点荷重とし、静的荷重では梁が破壊または最大耐力を示すまで載

荷した。疲労荷重では、最小荷重を 1 ton と一定にし、最大荷重を静的耐力の 90%、70%、50% と変化させ、荷重を 1 Hz で加えた。

静的荷重時には、主鉄筋に取り付けたセンサーで AE 計測を行い、イベント数、振幅分布の計測および位置標定を行った。疲労荷重時には、主に AE イベントを計測し、適宜位置標定を行った。なお、本研究で行った位置標定は全て 1 次元である。

## 3. AE 計測による鉄筋コンクリート梁のひび割れ発生位置の測定

AE 波は弾性波であるから、もし 2ヶ所以上で AE 計測を行えば、AE 波の到達時間差から AE の発生位置を求めることができる。しかし、AE 波がコンクリート中を伝播する場合、鋼材に比べて波の減衰がはるかに大きく、ひび割れ発生位置を AE 計測によって精度良く求めることの出来る距離は数十 cm 程度にすぎない。これでは大きなコンクリート構造物のひび割れ発生位置を精度良く求めることが出来ない。そこで、本研究ではコンクリート構造物の大半が鉄筋コンクリート構造であることを考慮して、コンクリート中に埋め込まれている鉄筋を利用してひび割れ位置を求めることにした。

鉄筋コンクリート梁が荷重を受ける場合に、AE 発生位置がどのように分布するかを調べると同時に、試験体表面に表れたひび割れがどのように分布しているかを示したものが図 2、図 3 である。これは載荷荷重を徐々に上げ、各荷重ごとに AE およびひび割れ発生位置を調べたもので、図 2 は初期ひび割れ発生時点、図 3 は鉄筋降伏荷重の 40% 時までの結果である。

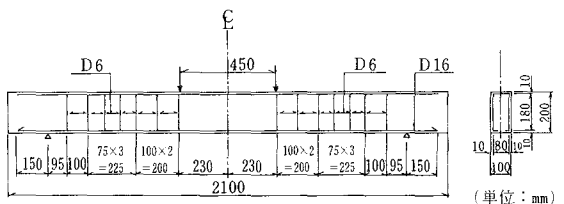


図 1 試験体寸法 (鉄筋コンクリート梁)

\*東京大学生産技術研究所 第 5 部

研 究 速 報

図2と図3を比較すると、荷重が小さい段階では梁中央部のみにAEの発生が認められたが、荷重を増大させるとともに、梁中央部のみならず側方でもAEが発生している。これは、肉眼で観察した梁のひび割れ発生、伸展状況ともよく一致している。これらの図から明らかなように、AE発生位置とひび割れ発生位置はほぼ一致しており、また、AE発生数とひび割れの伸び量にはよい相関があるといえよう。ただし、試験体のひび割れは表面で観察されたものであるため、たとえば、AEの発生が認められた箇所であってもひび割れが観察されていない場合もある。

このように、大きなコンクリート構造物であっても、内部に埋め込まれた鉄筋を利用すると、コンクリート構造物に生じたひび割れの発生位置を良い精度で推定することができる。

4. 疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート梁のAE特性

鉄筋コンクリート梁の疲労荷重試験を実施し、その場合のAE計測結果を図4に示す。

疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート梁のAEイベント総数(AE)と繰り返し荷重回数(N)との関係は、この図に示すような3種類の場合に分類することができる。

(A) 200万回まで荷重しても破壊しない場合

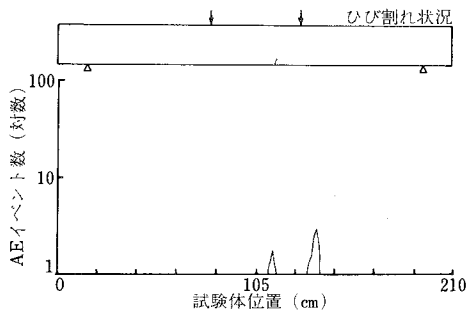


図2 試験体のひび割れ状況と位置標定(初期ひび割れ時)

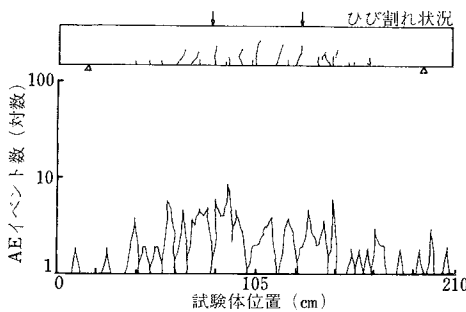


図3 試験体のひび割れ状況と位置標定(Pmaxの40%時)

(図中に示すA)

(B) 曲げ圧縮破壊となった場合(図中に示すB)

(C) せん断破壊となった場合(図中に示すC)

200万回まで荷重しても破壊しなかった梁(A)は、ある繰り返し回数まではほぼ一定の割合でAEイベント総数が増大しているが(logAE/logNが一定)、ある繰り返し回数を越えるとほとんどAEの発生が認められず、ほぼ定常状態となる。曲げ圧縮破壊となった梁(B)は、(A)の場合とほぼ同じAE特性を示しているが、ほとんどAEイベント総数の増加が認められない状態になった後、しばらくしてAEイベント総数が増加しはじめ、曲げひび割れの伸展とともに、急激にAEが増加して破壊した。せん断破壊となった梁(C)の場合には、(A)や(B)で見られるAEイベント総数が定常状態になる前に、せん断ひび割れが成長して破壊した。

以上のことから明らかなように、疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート梁のAE特性は、梁の破壊モードと密接な関係がある。なお、3.で述べた方法で疲労荷重載荷時のAE発生位置の標定を行うと、各載荷段階においてそれぞれ異なった場所でAEの発生が認められ、曲げ応力によるひび割れかせん断応力によるひび割れの判定が容易に行える。

5. AE計測による劣化度判定方法試案

鉄筋コンクリート梁の劣化度を判定する方法としては種々のものが考えられるが、ここでは次の考え方を採用した。

- (1) AE計測を実施する場合、常時監視することは経済的にも大変であることから、定期的な計測だけで判定する。
- (2) 劣化度の表示方法として、いつ、どのような破壊をするかを提示する。

このような方法で劣化度を判定するためには、まず、疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート梁のAE特性を、より利用しやすい形で表すことが必要である。そこで、図4

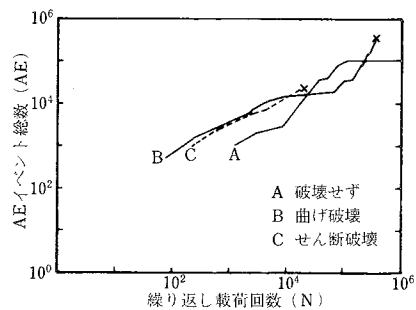


図4 破壊形式とAE発生状況

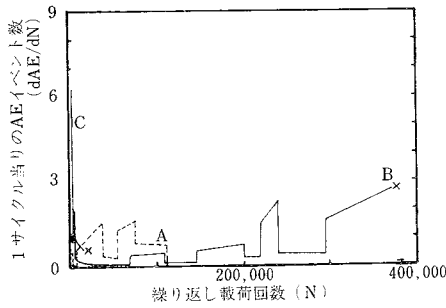


図5 繰り返し載荷回数と1サイクル当たりのAEイベント数との関係

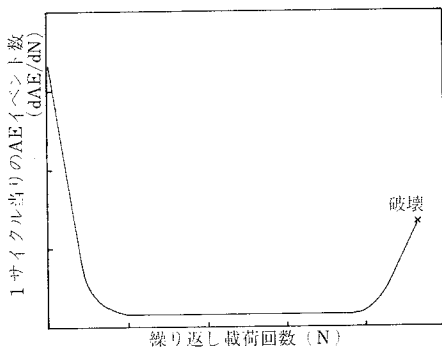
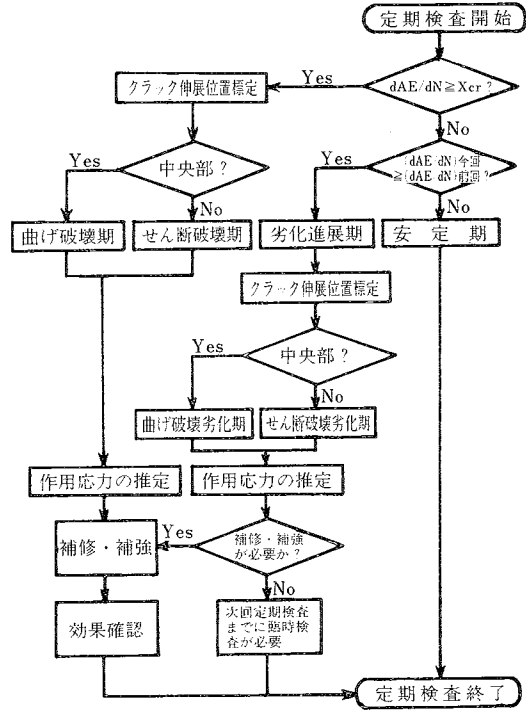


図6 疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の理想化された繰り返し載荷回数と1サイクル当たりのAEイベント数との関係

に示した結果を図5に示すように、載荷荷重1サイクルごとに発生するAEイベント数 (dAE/dN) とサイクル数 (N) との関係を整理しなおした。

このように整理すると、破壊しない場合 (A)、曲げ破壊する場合 (B)、せん断破壊する場合 (C) とでは、1サイクル当たりのAEイベント数の変化に大きな違いがあることが認められる。破壊しなかった梁の場合、10万回以上の繰り返し載荷後、ほとんどAEの発生が認められず、どの時点をとっても1サイクル当たりAEイベント数は、0.5以下となっている。曲げ破壊となった梁の場合、一時的に1サイクル当たりAEイベント数が小さくなるものの、繰り返し載荷回数が増すと徐々に増加し、3程度になって破壊している。せん断破壊となった梁の場合、1サイクル当たりAEイベント数の減少時に破壊している。

以上の結果から、疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート梁のAE特性は、図6に示した形になると推定される。すなわち、載荷初期においては1サイクル当たりのAEイベント数が大きい、次第に減少し、ほとんどAEが発生しなくなる。その後、疲労破壊近くなるとAEが



(注)  $X_{cr}$ : 疲労破壊限界AEイベント数(1サイクル当たり)

図7 疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の劣化診断フローチャート

多数発生し、ある限界値を越えると破壊する。

この考え方が正しいと仮定すると、図7に示すように、定期的なAEの計測を実施すれば、現在安定時期にあるのか、または劣化による破壊時期に近づいているのかを知ることができることになる。また、疲労破壊を起こす際の1サイクル当たりAEイベント数が明らかになれば、計測時の劣化程度を推定することができることになる。現在、まだ十分なデータはないが、今後さらに多くのデータを集集できれば、実際のコンクリート構造物に使用可能な判定方法にすることが可能であると思われる。なお、疲労破壊を生じる条件については、コンクリート構造物の安全性等の観点からも検討することが必要であろう。

6. あとがき

本研究では、疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート梁のAE特性に基づき、コンクリート構造物の劣化度判定方法の可能性について検討したが、今後、実際のコンクリート構造物への適用を図るべく研究を進める予定である。

(1986年9月24日受理)