

# 論文 AE 法による動的荷重下の RC 構造物の健全性評価方法に関する検討

森 大介<sup>\*1</sup>・内田昌勝<sup>\*1</sup>・岡本享久<sup>\*2</sup>・大津政康<sup>\*3</sup>

**要旨:** 橋梁などの繰り返し曲げ荷重を受ける部材の健全性を評価するために、アコースティック・エミッション(AE)法の適用性を、RC梁部材を想定した試験体で検討を行った。RC梁部材のひび割れ発生状況および耐荷挙動は従来から言われている通り、疲労破壊に至るまで大きな変化が認められず、これらより余寿命を推定することが困難であった。しかし、AE波形のパターンを示すパラメータの挙動に着目することにより、梁部材の余寿命を予測できる可能性を見出した。

**キーワード:** RC構造物, 繰り返し載荷, 健全性診断, 非破壊検査, アコースティック・エミッション

## 1. はじめに

近年, 社会の成熟化や環境問題の顕在化によって, 社会基盤の中核として高度成長期に急激に整備されたコンクリート構造物の維持管理が問題になっている。

特に, 自動車や鉄道などによる繰り返し荷重を受けるコンクリート構造物の余寿命を把握することは, 安全性と経済性の面から重要な課題となる。このような課題を解決するために様々な検査方法が提案されているが, その手法の一つとしてアコースティック・エミッション(AE)法がある。AE法は, ひび割れの発生あるいは進展する状態を簡易にかつ敏感に検知できる手法であり, コンクリート構造物で発生するひび割れの種類などを計測されたAE波形のパターンにより識別が可能であることが報告されている。<sup>1)2)</sup>

これまでに, 湯山らの研究<sup>3)</sup>で, 鉄筋コンクリート(RC)床版に押し抜きせん断荷重を繰り返し受けて劣化する過程を, AEの発生数の変化などで評価できることが報告されている。

本研究では, 橋梁などの繰り返し曲げ荷重を受ける部材を想定した疲労劣化の評価をするた

め, AE波形の変化も考慮した解析を行い, その適用性を検討した。

## 2. 実験概要

### 2. 1 試験体の作製

実験に使用した試験体は, 図-1に示す, 長さ2700×幅100×高さ200mmのRC試験体とした。試験体の作製に使用したコンクリートは, 呼び強度30, スランプ15cm, 最大骨材寸法20mmのレデーミクストコンクリートとした。載荷試験までの養生は気中養生とし, 載荷試験時の圧縮強度は, 39.2(N/mm<sup>2</sup>)であった。主筋に使用した鉄筋は, D13(SD295A, 降伏点361N/mm<sup>2</sup>, 引張強さ505N/mm<sup>2</sup>)とした。

### 2. 2 載荷方法

繰り返し荷重の載荷は, 図-1に示すように, 3等分点曲げ載荷を疲労試験機(島津サーボパルスEHF-UD30-70L型)で行った。繰り返しのサイクルは0.5Hzとし, 荷重は1サイクルでRC梁の最大耐力で0%→85%(29.2kN)→0%となるように載荷した。

### 2. 3 耐荷挙動の計測

繰り返し載荷時のRC梁の耐荷挙動を0,

\*1 太平洋セメント(株)研究本部清澄研究所研究員 工修 (正会員)

\*2 太平洋セメント(株)研究本部清澄研究所ゼネラルマネージャー 工博 (正会員)

\*3 熊本大学教授 工学部環境システム工学科 工博 (正会員)

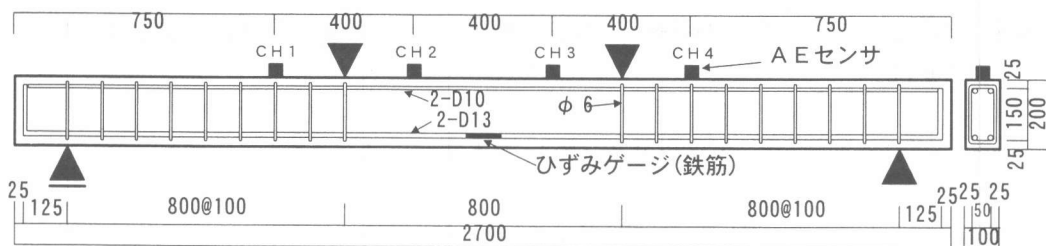


図-1 試験体の形状・配筋，載荷条件およびA E センサの配置

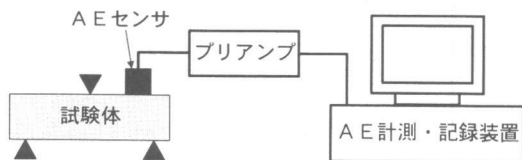


図-2 A E 計測システム



写真-1 試験体の破壊状況

1000, 5000, 10000 サイクルに，その後は 10000 サイクル毎に除荷して行った。計測項目は，試験体表面のひび割れの目視による観察，試験体中央の残留たわみおよび引張鉄筋の残留ひずみとした。

### 2. 4 A E の計測方法

A E の計測システムを図-2 に示す。A E センサは，60kHz 共振型(PAC 社製 R6 型)を図-1 に示すように試験体上部へ等間隔に4個配置した。A E センサのコンクリート表面への取り付けは，シリコングリスをカプラントとし，ガムテープで固定した。センサで受振したA E は，プリアンプで 40dB 増幅し，しきい値 67dB で A E 波形およびパラメータを計測装置(PAC 社製 MISTRAS)にて記録した。

### 3. 部材の耐荷挙動

試験体は，50419 サイクルで試験体下部の鉄

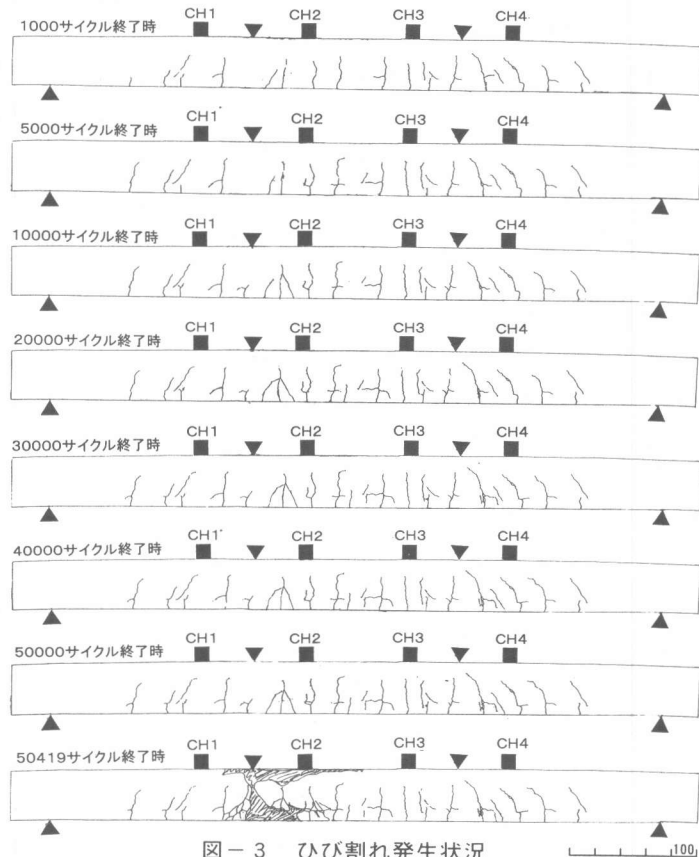


図-3 ひび割れ発生状況

筋が脆性的に破断し最終耐力に至った。鉄筋の破断部分を写真-1 に示す。また，鉄筋の疲労寿命を土木学会コンクリート標準仕方書・設計

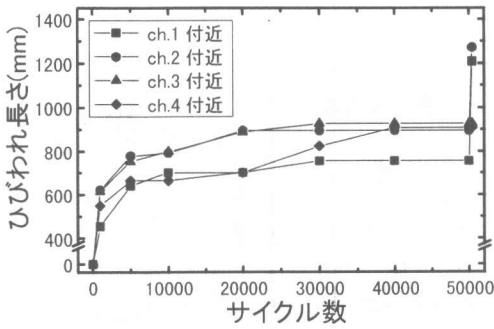


図-4 ひび割れ長さの推移

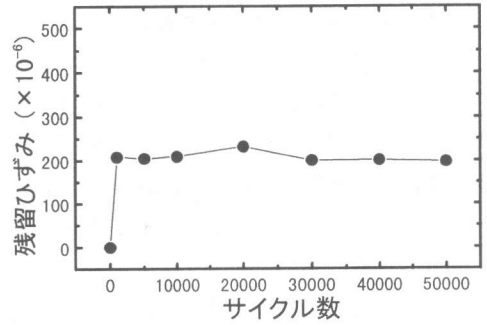


図-6 鉄筋の残留ひずみの推移

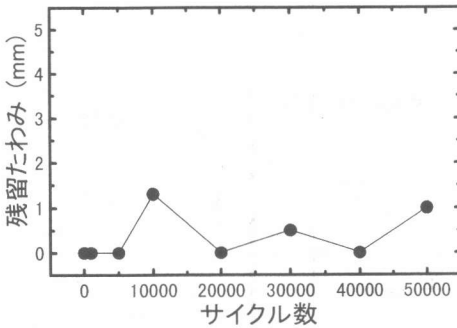


図-5 試験体の中央の残留たわみの推移

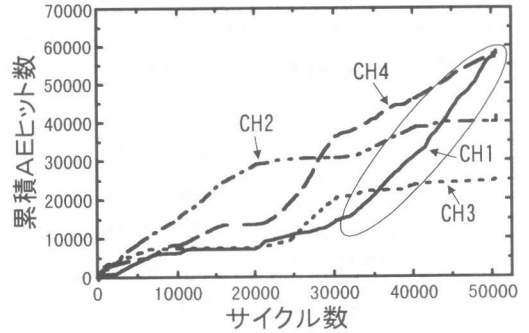


図-7 AEの発生状況

編の疲労強度の算定式<sup>4)</sup>から求めると、40350サイクルとなり、本実験は安全側での疲労破壊であった。なお、算定式による疲労寿命(N)の算出は、材料係数を1とし、試験体のコンクリートによる自重を鉄筋にかかる永久荷重として考慮し、 $f_{srd}$ に疲労荷重によって鉄筋にかかる最大応力を代入して行った。

### 3.1 ひび割れの発生挙動

図-3に試験体のひび割れ発生状況をサイクル数の段階ごとに、図-4にひび割れ長さの推移を図中の試験体略図に示すAEセンサ毎の範囲にわけて示す。ひび割れは、1000サイクル終了時点で曲げ、せん断および引張鉄筋に沿ったひび割れが発生していた。1000サイクル以降では発生本数および、ひび割れ深さは全域にわたって徐々に増加し、50419サイクルでチャンネル(CH)1側の載荷点付近で脆性的な破壊に至った。

### 3.2 鉄筋ひずみおよびたわみ量の変化

図-5および図-6にそれぞれ試験体中央の

残留たわみおよび鉄筋の残留ひずみの推移を示す。これによると、残留たわみおよび鉄筋の残留ひずみは、試験体が最終破壊に至るまで大きな変化は認められなかった。よって、ひび割れ、鉄筋の残留ひずみおよび残留たわみ量の変化からは試験体が疲労寿命に至り何時破壊するか(余寿命)の予測は難しいと考えられた。

## 4. 繰り返し荷重下のAE発生挙動

### 4.1 AEの発生(累積ヒット)数

図-7に累積AEヒット数とサイクル数の関係をセンサのチャンネルごとに示す。チャンネルとセンサの位置の関係は図-1に示すとおりである。最終サイクルで鉄筋の破断の起きた位置に近いCH1で、ひび割れ等の耐荷挙動に変化の認められなかった30000サイクル以降に、単位時間当たりのAEヒット数の増加が認められた。しかし、30000サイクルと最終破壊に対し比較的早い段階から増加し始めるため、余寿命を明確に予測することは難しいと考えられた。

#### 4. 2 AEパラメータ解析

AEパラメータとは、図-8に示すようにAE波形の形状の特性値を表したものである。これらの発生履歴、頻度、相関、パターンなどを詳細に解析することにより欠陥の発生条件や成長特性を調べることができ、また識別が行うことができる。

また、これまでの筆者らの研究<sup>5)</sup>では、図-9の様にAE波形の形状によりひび割れのパターンを識別できることがわかっている。進展する開口型のひび割れでは図-9(a)に示すように突発型のAEが多く計測される。またひび割

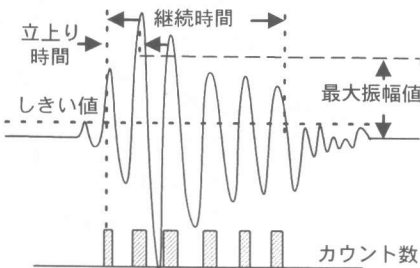
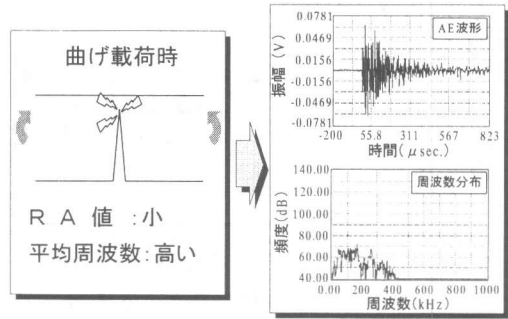
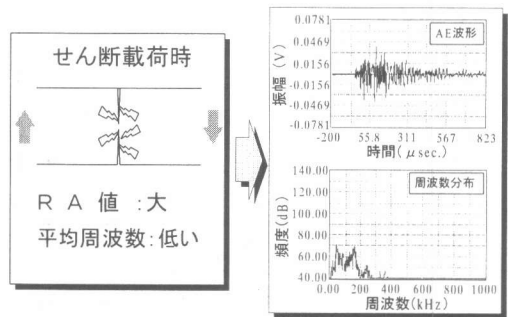


図-8 AEパラメータ



(a) 曲げひび割れ発生時



(b) せん断ひび割れ発生時

図-9 ひび割れパターンとAE波形の関係

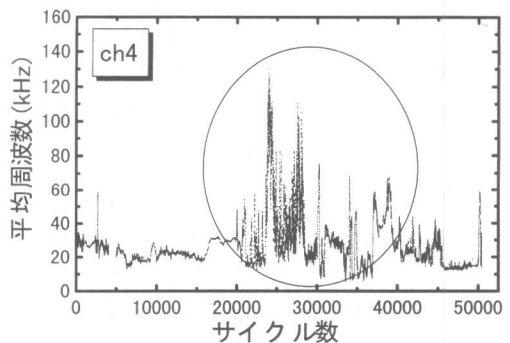
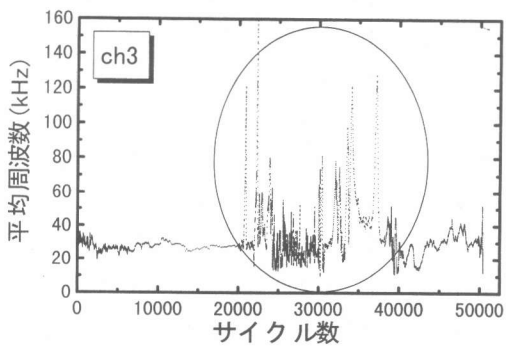
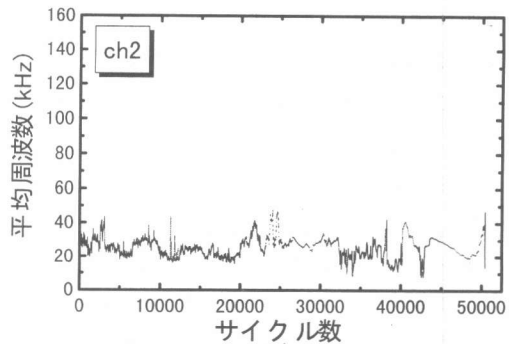
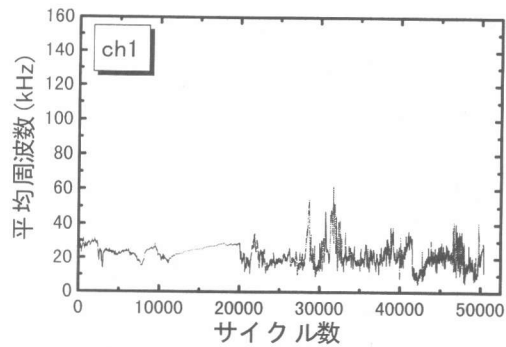


図-10 AEの平均周波数の推移

れ面がずれる場合は、図-9(b)に示すように連続型のAEが計測される。この2つのパターンをAEパラメータにより識別する方法として、RA値(立ち上がり時間/最大振幅値)<sup>3)</sup>で評価することが有効である。開口型(進展性)のAEではRA値は比較的小さくなり、連続型(ずれ)の場合は比較的大きくなる。また、図-9の周波数分布に着目すると、開口型(進展性)は0~400kHzに分布して比較的高く、連続型(ずれ)は0~250kHzに分布し比較的低いことから、平均周波数(カウント数/信号持続時間)にも着目して検討を行なった。

平均周波数による検討結果を図-10に、RA値による検討結果を図-11に示す。それぞれの値は、载荷開始時からAEの発生した順に50個ずつの平均値で表した。平均値にすることで、突発的なAEパラメータの変化の影響が小さくなり、AE挙動の全体的な変化をとらえやすくなる。図-10によると、CH3およびCH4のセンサの20000から40000サイクルの間で平均周波数が高くなる傾向が認められた。図

-9(a)のように平均周波数の高いAEが発生した場合、ひび割れの進展が起きていたと推測される。また、図-4よりCH3およびCH4の20000から40000サイクルの間でひび割れ長さが増加していたことからひび割れの進展は明らかと考えられた。

図-11によると、AEヒット数が増大したCH1において、最終破壊に至る直前の40000サイクル以降に、RA値の大きいAEの発生が認められた。よって、疲労破壊の生じる前にはひび割れの進展が認められなくとも、RC部材の内部で形成されたひび割れ面がずれが生じていたと推測された。これより、供用期間の80%付近で、余寿命を予測することが可能と考えられた。なお、CH1と同様に疲労破壊部分に近いCH2は、付近に開口型の曲げひび割れが多く、疲労荷重によるずれが生じにくいいため、RA値の大きなAEが計測されないと考えられた

#### 4.3 AE法による健全性評価

以上の結果より、繰り返し荷重を受ける梁部材の健全性は、残留たわみおよび表面ひび割れ

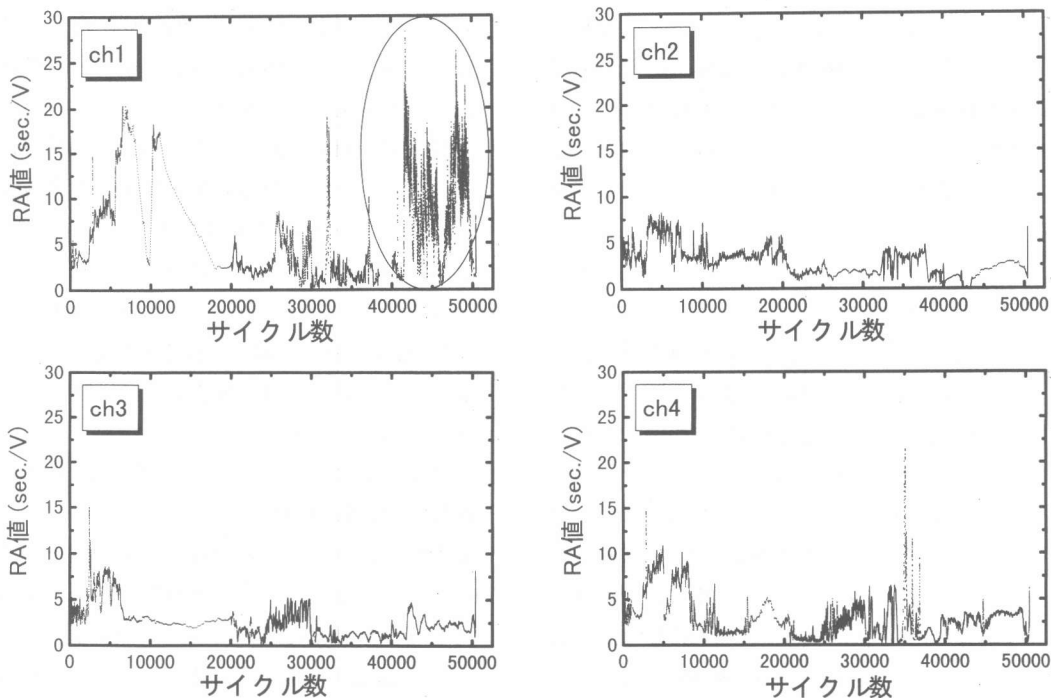
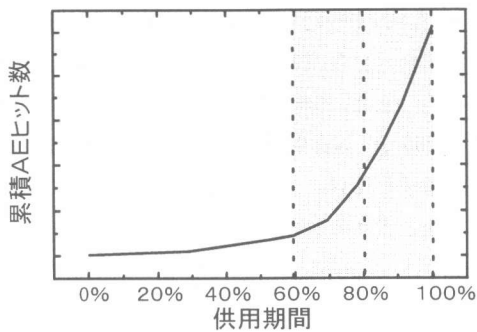
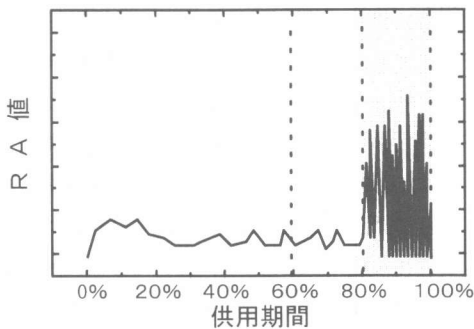


図-11 AEのRA値の推移



(a) 累積AEヒット数



(b) RA値

図-12 AE法による健全性評価方法

の発生状況では予測が困難であった。また、AE法では、図-12に示すように、累積AEヒット数の増加が部材耐力に至るまでの供用期間の60%程度から認められる。これにRA値を組み合わせることで、供用期間の80%に達していることを予測するのが可能であり、余寿命の予測も可能と考えられた。

## 5. まとめ

繰り返し荷重を受けるRC梁部材の健全性についてAE法により診断する方法を探索する目的で、梁部材を模擬した試験体で検討を行った結果、以下の知見が得られた。

(1) 繰り返し荷重を受けた梁部材は50419サイクルで脆性的な破壊を起こして部材耐力に至った。部材耐力に至るまで、耐荷挙動およびひび割れ発生状況に明確な変化はなく、これらより健全性を評価することは困難であった。

- (2) 繰り返し荷重を受けた梁部材において、曲げひび割れの進展が認められた際に、平均周波数の高いAEが計測された。
- (3) 疲労破壊の生じた付近のAEセンサにおいて最終破壊サイクルの60%程度である30000サイクル前後から累積AE発生(ヒット)数が増加した。
- (4) 累積AE発生数の増加したAEセンサにおいて、最終破壊サイクルの80%程度である40000サイクル前後からRA値の大きいAEが連続的に計測された。これは、耐荷挙動には現れないが、最終破壊に至る前にひび割れのずれが起こったためと考えられた。
- (5) 累積AE発生数とRA値を組み合わせることで、部材耐力に至るまでの供用期間の80%に達しているかをAE法により診断できる可能性があることが見出された。

## 参考文献

- 1) 重石光弘, 辻伸幸, 天津政康: 損傷を受けた鉄筋コンクリートの低レベル動的荷重時におけるAEパラメータ解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.2, pp.65-70, 1996
- 2) 川島正史, 鎌田敏郎, 長滝重義, 大即信明: コンクリート部材から発生するAEの簡易識別方法による評価, 土木学会第49回年次学術講演会講演梗概集, pp.148-149, 1994
- 3) 湯山茂徳, 李正旺, 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劣化評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, pp.167-172, 1998
- 4) (社)土木学会: コンクリート標準仕方書・設計編, pp.35, 1997.3
- 5) 森大介, 岡本享久, 内田昌勝, 柴田辰正: 常時微動荷重下における鉄筋コンクリート梁のAE発生挙動に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp.1327-1332, 1997