

熊本大学大学院 学生員 藤岡 泰作  
 オリエンタル建設 正 員 江嶋 謙  
 熊本大学工学部 正 員 大津 政康

## 1. はじめに

耐久性に優れるコンクリート構造物でも、近年塩害や凍害、アルカリ骨材反応などによる早期劣化の問題が顕在化している。そこで、そのようなコンクリート構造物を適切に維持管理するため劣化度診断法の確立が急務とされている。本研究では、凍結融解作用を受けたコンクリート供試体について、一軸圧縮下でAE（アコースティック・エミッション）事象を計測し、そのAE発生頻度及び振幅分布から定量的な劣化度評価を行う方法について基礎的な検討を行った。

## 2. 解析手法

### 2.1 レートプロセス解析

一軸圧縮試験におけるAE発生挙動の特性の定量化のため、レートプロセス理論を適用する<sup>1)</sup>。応力レベル $V(\%)$ から $V+dV(\%)$ までのAE発生の確率関数 $f(V)$ を次のように仮定する。

$$f(V)dV = dN/N \quad (1)$$

ここで、 $N$ は応力レベル $V(\%)$ までの総AE発生数である。既報<sup>1)</sup>では、この確率関数に次のような双曲線関数を仮定している。

$$f(V) = a/V + b \quad (2)$$

ここで、 $a, b$ は定数である。この場合には、総AE発生数 $N$ と応力レベル $V(\%)$ の関係が次のように得られる。

$$N = cV^a \exp(bV) \quad (3)$$

ここで、 $c$ は積分定数である。一方、 $f(V)$ を一定とみなした場合（ $f(V) = b'$ ）には、次の結果が得られる。

$$N = c' \exp(b'V) \quad (4)$$

本解析では、二つの近似式(3)、(4)の係数 $a, b'$ をAE発生挙動の特性を表すパラメータとして注目し、劣化度別の考察を試みる。

右図に解析結果例を示す。

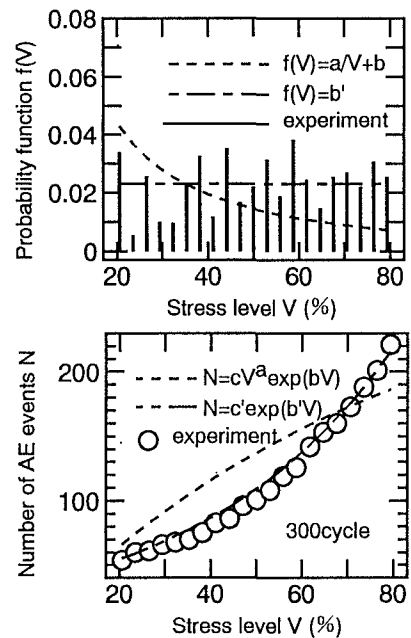


図-1 レートプロセス解析結果

### 2.2 AE振幅分布によるフラクタル次元

フラクタルとは、図形の一部を拡大すると元の図形と同じになるという自己相似性があるもの、あるいは縮尺の変化に対して変化しないスケール不変性を持つ複雑なパターンや空間内の点の集合である、と定義される<sup>2)</sup>。AEの振幅 $x$ と発生数 $f(x)$ の両対数表示は、右下がりの直線分布となりフラクタル構造を示す。すなわち、AE振幅分布は、

$$f(x) = cx^{-m} \quad (5)$$

で表すことができる。この $m$ はフラクタル次元と呼ばれ、材料劣化の指標としての可能性が提唱されている<sup>2)</sup>。本解析では式(5)を次式のように積分し、その結果を一次近似した直線の傾き（ $a_0$ ）から求める。解析結果例を右図に示す。

$$\int f(x) dx = \frac{c}{-m+1} x^{-m+1} \quad (6)$$

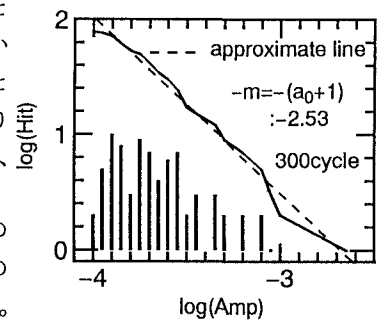


図-2 フラクタル次元解析結果

## 3. 実験及び解析結果と考察

直径10cm、高さ20cmの円柱供試体を作成し、水中凍結融解試験（1サイクルを-17～4℃まで3時間とする）により人工的に劣化を促進させ、0, 100, 200, 300サイクルの4段階の劣化程度を用意した。その後、一軸圧縮試験を行い、縦、横ひずみとAE発生頻度を圧縮強度に達するまで計測した。AEの計測では、共振周波数約1MHzのセンサを用い、プリアンプ40dB、メインアンプ20dBの合計60dBで増幅し、検出に際してはしきい値42dB、デッドタイム2msecと設定した。使用したコンクリートの配合を表-1に示し、実験で得られた圧縮強度などの力学特性の結果を表-2に示す。

表-1 示方配合

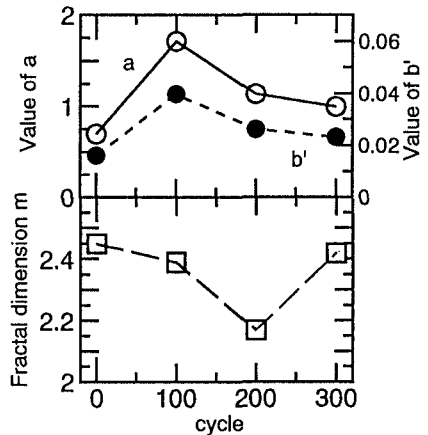
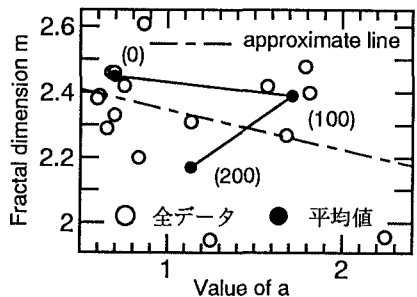
| 単位重量(kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |      |
|--------------------------|------|-----|------|
| 水                        | セメント | 細骨材 | 粗骨材  |
| 182                      | 331  | 817 | 1045 |

表-2 材料パラメータ

|          | 相対動弾性係数(%) | 圧縮強度(MPa) | ヤング率(GPa) | 総AE発生数(V=20~80%) |
|----------|------------|-----------|-----------|------------------|
| 0cycle   | 100        | 43.4      | 31.16     | 327              |
| 100cycle | 93.8       | 43.8      | 30.32     | 258              |
| 200cycle | 83.4       | 42.3      | 28.36     | 68               |
| 300cycle | 83.7       | 41.1      | 27.19     | 164              |

表-2より水中凍結融解試験を受けたコンクリートは、強度やヤング率において明らかに低下していることが認められる。ここで、解析結果である $a$ ,  $b'$ 及びフラクタル次元 $m$ の劣化度別変化を図-3に示す。これより、 $a$ と $b'$ はほぼ同様に変化を示し、健全なときに比べ劣化すると値が大きくなる傾向が見られる。これは劣化したコンクリートほど低応力レベルからAEをよく発生し、全体のAE発生確率も高くなっていることを表している<sup>3)</sup>。一方、 $m$ は劣化に対し小さくなる傾向が見られる。これは、次数 $m$ が変形性のAEは2以上、破壊性のAEは2以下の値をとるとされていることから、劣化するほど負荷応力に対する一種の抵抗力となる変形性が失われていることを表している<sup>2)</sup>。しかし、両値とも200サイクル以降逆の結果を示している。これは、検出した総AE発生数がそれ以降激減していることから、過度の劣化状態では明らかなひび割れが存在するため、内部で発生した全てのAEがセンサまで伝播されることがないためであると考えられる。

ここで、特に $a$ と $m$ の関係に注目し、200サイクルまでの解析結果をプロットしたものを図-4に示す。これらの分布は劣化にともない、左上から右下へと移動する傾向が見られる。今回の実験では200サイクルにおいてかなり劣化が進み、信頼できる実験データが十分とは言えないが、両パラメータとも強度が低下する以前の劣化度の定量的評価に適用できる可能性が示された。

図-3  $a$ ,  $b'$ ,  $m$ 値の劣化度別変化図-4 劣化度別の $a$ と $m$ の関係

- 【参考文献】1) M. Ohtsu: Rate Process Analysis of AE Activity in Uniaxial Compression Test of Core Sample, PROGRESS in ACOUSTIC EMISSION V, JSNDI, pp.311-316, 1990  
 2) 仲佐博裕: アコースティックエミッションの理論と実際 地人書館 1994  
 3) 藤岡泰作: AE法と塑性理論に基づいた劣化コンクリートの圧縮特性評価、熊本大学平成6年度 卒業論文