

## V-595

## AE法と数値解析によるマイクロクラック伸展メカニズムに関する基礎研究

日本工営中央研究所 正会員 藤原鉄朗

〃 正会員 師 自海

〃 正会員 石橋晃睦

〃 正会員 松山公年

## 1. まえがき

戦後50年以上を過ぎた現在、長期供用による老朽化と早期劣化現象の社会問題化により、コンクリート構造物の維持管理の重要性は急速に高まっている。

コンクリート構造物のひびわれの発生を把握することは、その健全度を評価するうえで極めて重要である。しかし、コンクリートの破壊メカニズムは複雑であり、実構造物に発生するひびわれの挙動を詳細に把握することは極めて困難である。また、コンクリートが破壊に至る過程において無数のマイクロクラックが発生するが、これら1つ1つのマイクロクラックについて解析を行うことは多大な労力を要するとともに、骨材の配置などの初期状態を精密に再現することができないため現実的でない。

そこで、ある領域のマイクロクラックの互いの干渉を考慮し、マイクロクラック群としての挙動を総体で捉えるクラックモデルを考案した。一方、AE（アコースティック・エミッション）法は、ひびわれ発生などのひずみエネルギーの解放にともなう弾性波動現象であり、物体内部のマイクロクラックに関する有益な情報を与えるものとして注目されている。今回考案したクラックモデルを用いることによって、AEを評価するうえで重要なマイクロクラックの伸展量やマイクロクラックの伸展によって生じる弾性波をシミュレーションすることが可能になると考えられる。

本報告は、上記モデルを用いてマイクロクラックの伸張挙動の解析を行うとともに、一軸圧縮試験時のAE計測結果との比較を行い、AE情報からコンクリートの材料的な老朽化を評価する方法について検討した結果を紹介するものである。

## 2. コンクリートにおける破壊形態とクラックモデル

コンクリートの初期欠陥は、応力履歴や材料的な劣化によって増加すると考えられ、極めて微小で肉眼では観察できないが、構造物の健全度を検討するうえで極めて重要な意味を持っている。

そこで、コンクリート内部に初期欠陥を多数分布させ、これらが互いに影響を及ぼしながらマイクロクラックとして伸展するクラックモデルを構築した（図-1・式-1～3）。このクラックモデルは、微小なひびわれがしだいに伸展し、大きなひびわれに発展していく過程を再現できる。

$$\sigma_p = \sum_{j=1}^N \left\{ \frac{1}{2} (\sigma_h + \sigma_p) \frac{q_j^2}{d_{ij}^2} f_1 + \frac{1}{2} (\sigma_h + \sigma_p) \frac{q_j^2}{d_{ij}^2} f_2 + \frac{1}{\pi} F_j \frac{q_j}{d_{ij}^2} f_3 + \frac{1}{\pi} F_{dj} \frac{q_j}{d_{ij}^2} f_4 \right\} \quad (1)$$

$$\tau_p = \sum_{j=1}^N \left\{ \frac{1}{2} (\sigma_h + \sigma_p) \frac{q_j^2}{d_{ij}^2} f_5 + \frac{1}{2} (\tau_h + \tau_p) \frac{q_j^2}{d_{ij}^2} f_6 + \frac{1}{\pi} F_j \frac{q_j}{d_{ij}^2} f_7 + \frac{1}{\pi} F_{dj} \frac{q_j}{d_{ij}^2} f_8 \right\} \quad (2)$$

$$\frac{F_i \sin \beta_i + F_{di} \cos \beta_i}{\sqrt{\pi(q_i + q_j)}} + (\sigma_h + \sigma_p) \sqrt{\pi q_i} - Kc = 0 \quad (3)$$

$q$  : クラック長さ

$\sigma_p, \tau_p$  : 干渉応力

$F_i$  : クラックを開口させる集中力

$i=1,2,3 \dots, N$

$d_{ij}$  : クラック間の距離

$f_{1 \sim 8}$  : 角度に関する関数

$Kc$  : 限界応力拡大係数

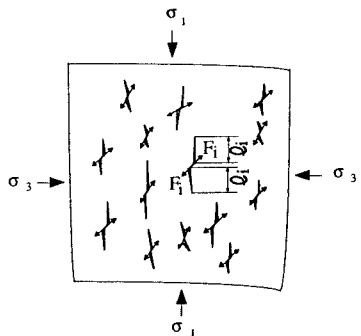


図-1 クラックモデル

### 3. 一軸圧縮試験による AE 発生挙動

コンクリート供試体（ $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ ）に対して一軸圧縮試験を行ない、このときに発生する AE を計測した（図-2）。

試験供試体の配合および AE の計測条件を表-1、表-2にそれぞれ示す。図-3に一軸圧縮時の AE 発生挙動を示す。

AE の発生量は応力増分に対する AE イベント数で示した。図-3に示すとおり、コンクリート供試体は、比較的大きな粗骨材のみを用いたこともあり、強度が約  $100 \text{kgf/cm}^2$  と低く、AE も載荷直後から急激に増加している。

一方、モルタル供試体は、強度が約  $400 \text{kgf/cm}^2$  と高く、AE は  $150 \text{kgf/cm}^2$  まではほとんど発生せず、破壊直前になって初めて急激に発生している。

### 4. クラックモデルによるクラックの伸び量の予測

コンクリートのクラックの発生は骨材とモルタルの境界からはじまることが知られている。これより、モデル上は、コンクリートはモルタルと比較して骨材とモルタルの境界で大きな初期欠陥を有しているものと設定できると考えられる。そこで、コンクリートとモルタルのモデルをそれぞれ初期欠陥の単位面積あたりの本数は同じであるが、初期欠陥の長さが異なっているモデルで表現し、主応力比（ $\sigma_1/\sigma_3$ ）を変化させ、クラックの新たな伸展に対する影響を解析した。この結果を図4に示す。

クラックの伸展程度は、AE と同様に応力の増分に対するクラックの伸び量で示した。なお、グラフは AE の発生挙動との比較を容易にするために、主応力比が極大となる点を一軸圧縮試験の破壊強度に揃えている。

図-3 と図-4 を比較すると今回構築したクラックモデルが高い精度で AE の発生挙動を再現していることを示しており、モデルの有効性が確認できる。

### 5. 今後の課題と方向性

これまで、現地試験や室内試験で得られる膨大な AE データを評価する有効な方法は必ずしも確立されていなかった。これは、AE の発生とクラックの伸展という現象が十分にリンクして考えられていなかったことに起因している。構築したクラックモデルは、これらの問題を解決する有効なツールになると考えられる。今後は、クラックモデルから数値解析上で AE を算出し、室内試験の AE データと対比させる方法を検討し、現地試験での AE 情報を解析する手法を構築する予定である。

参考文献：

- 1) Shi,Z.,Horii,H.:Microslip model of strain localization in sand deformation,Mechanics of Materials,8(1989)89-102

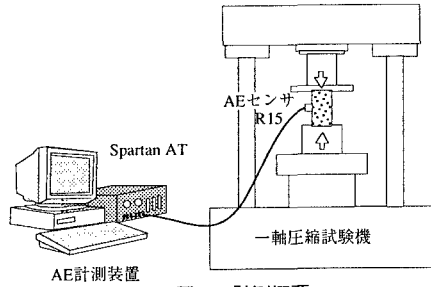


図-2 計測概要

表-1 供試体の配合

|        | 水セメント比 | 単位体積重量 ( $\text{kg/m}^3$ ) |      |      |      |
|--------|--------|----------------------------|------|------|------|
|        |        | 水                          | セメント | 細骨材  | 粗骨材  |
| コンクリート | 60%    | 360                        | 600  | 1090 | 2690 |
| モルタル   | 60%    | 368                        | 613  | 1113 | -    |

表-2 試験条件

| 載荷速度                                      | AE装置                 | AEセンサー       | 増幅率  | 閾値   |
|-------------------------------------------|----------------------|--------------|------|------|
| $12.7 \text{kgf cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ | 日本PAC製<br>Spartan AT | 15kHz<br>共振型 | 60dB | 50dB |

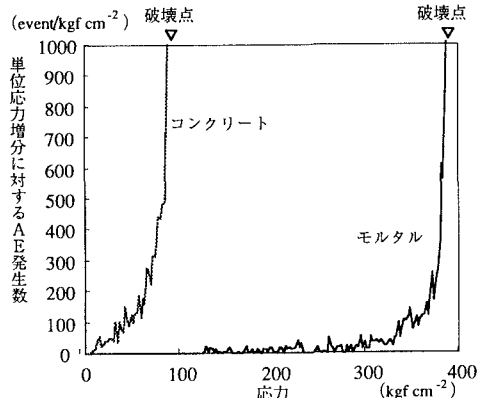


図-3 一軸圧縮試験によるAE発生挙動

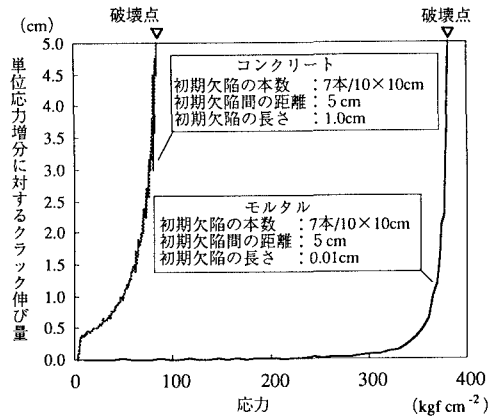


図-4 クラックモデルによるマイクロクラックの伸展挙動