

## AE 法によるコンクリートの割裂破壊機構に関する考察

熊本大学 学生会員 ○松尾 拓也  
立命館大学 正会員 川崎 佑磨  
熊本大学 フェロー会員 大津 政康

### 1. はじめに

一般に、コンクリートの引張強度は、割裂試験によって求められることが多い。しかし、近年になってコンクリートの引張破壊機構の解明に破壊力学が適用され、コンクリートにおけるひび割れの先端には、微細なひび割れが累積した破壊進行領域（Fracture Process Zone）と呼ばれる非線形領域が形成されると考えられるようになってきている。この過程の解明には AE 法が有効であることが知られている。そこで、本研究では、コンクリートおよび繊維補強コンクリートの割裂試験における破壊進行領域の形成過程を、AE 法と SiGMA 解析を用いて明らかにすることを試みた。

### 2. 解析手法

#### 2.1 SiGMA 解析<sup>1)</sup>

AE センサに AE 発生源より伝播、到達してくる AE 波の初期振動値  $A$  は以下の式で表される。

$$A = C_s \text{Ref}(t, r) \gamma_p \gamma_q M_{pq} \frac{1}{R} \cdot DA \cdot \dots \quad (1)$$

ここで、 $C_s$  は弾性体の材料係数、 $DA$  はクラック面積、 $\text{Ref}(t, r)$  は反射係数、 $\gamma_p$ 、 $\gamma_q$  は AE 波のセンサへの入射方向  $\gamma$  の  $p$  方向および  $q$  方向への余弦ベクトルで、 $R$  は AE 発生源とセンサの距離を表す。それぞれの AE センサで検出される AE 波形から AE 波の到達時間を読み取り、この到達時間差から AE 発生源の位置標定を行い、式(1)に AE 波形の初動振幅値とこれらの値を代入することにより未知数のモーメントテンソル  $M_{pq}$  を決定する。 $M_{pq}$  は応力とひずみと同じく 2 階のテンソルなので、固有値解析を行えばマイクロクラックの種類や運動方向を決定することができる。

### 3. 実験概要

本実験に使用する円柱コンクリートとして直径 150mm、長さ 300mm を 3 種類作製した。3 種類とは、コンクリート供試体、モルタル供試体、ビニロン繊維補強コンクリート供試体である。ビニロン繊維の密度は  $1.2\text{g/cm}^3$ 、繊維長は 30mm である。このビニロン繊維を体積比で 0.3% 混入させた。それぞれの供試体の示方配合を表-1 に示す。作製した供試体を材齢 28 日後にコンクリートカッターにて長さ 100mm に裁断し、成型した。ここで、実験結果の再現性を得るため、2 本の供試体にそれぞれ割裂試験を行った。本実験では載荷初期から、破壊までの AE モニタリングを実施し、AE 頻度係数と波形の記録・収録を行った。実験概要図を図-1 に示す。AE 計測には、AE Win SAMOS(Physical Acoustic Corp.社製)を使用し、AE センサは R15I-AST (共振周波数 150kHz) を 8 個使い、AE センサはエレクトロノワックスにて貼付した。また、載荷時には供試体上面と下面にテフロンシートを挿入し、載荷摩擦により発生する AE の低減に努めた。

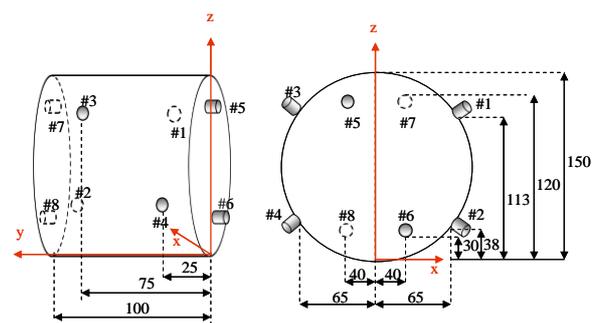


図-1 実験概要図 単位:mm

表-1 コンクリート供試体の示方配合

|                | 最大寸法 | 水セメント比  | 空気量 | スランプ値 | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |      |      |     | AE減水剤 | AE助剤 |
|----------------|------|---------|-----|-------|--------------------------|-----|------|------|-----|-------|------|
|                | (mm) | W/C (%) | (%) | (cm)  | W                        | C   | S    | G    | F   | (g)   | (g)  |
| コンクリート         | 20   | 55      | 8.6 | 7.7   | 173                      | 314 | 757  | 1144 | —   | 1266  | 19   |
| モルタル           | 20   | 55      | 8.1 | 22.2  | 288                      | 524 | 1249 | —    | —   | —     | 31   |
| ビニロン繊維補強コンクリート | 20   | 55      | —   | 1.9   | 173                      | 314 | 757  | 1135 | 3.6 | 1266  | 19   |

キーワード アコースティック・エミッション, 割裂試験, SiGMA 解析, 破壊進行領域

連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39番1号 熊本大学 TEL096-342-3542

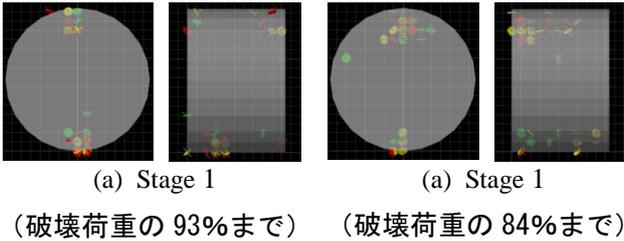
4. 実験結果

4.1 SiGMA 解析

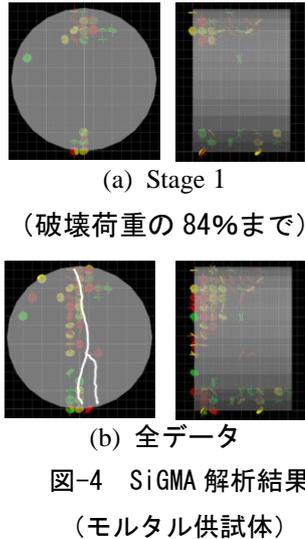
AE 計測によって得られた AE 波形について初動振幅値と立ち上がり時間を読み取り、SiGMA 解析を行うことで、AE 発生源の3次元の位置標定およびひび割れ識別を行った。割裂試験の破壊進行領域形成過程を時系列ごとに認識するために、AE 発生頻度のパターンから破壊進行過程を2段階に分けた。AE イベントのクラックの形成モードについて、モーメントテンソルのせん断成分が占める割合(せん断成分比)により類別を行った。せん断成分比が 0~40%の AE イベントを引張型クラック、60~100%の AE イベントをせん断型クラック、40~60%の AE イベントを混合型クラックと分類した。図-2 に SiGMA 解析に用いたクラックモデルを示す。図-3 にコンクリート供試体、図-4 にモルタル供試体、図-



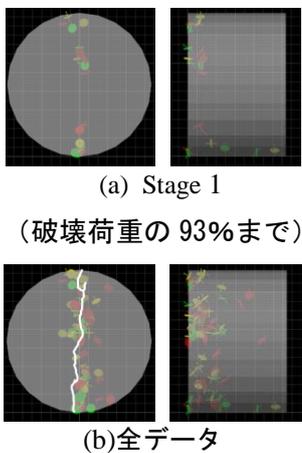
図-2 SiGMA 解析に用いたクラックモデル



(a) Stage 1  
(破壊荷重の 93%まで)  
(b)全データ  
図-3 SiGMA 解析結果  
(コンクリート供試体)



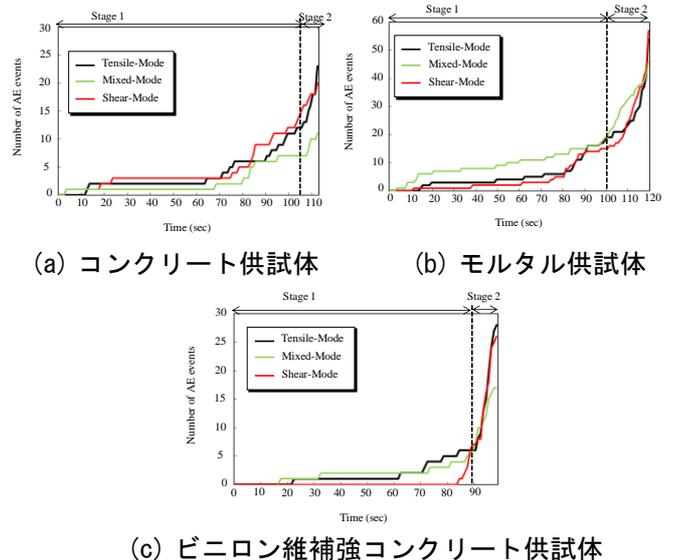
(a) Stage 1  
(破壊荷重の 84%まで)  
(b)全データ  
図-4 SiGMA 解析結果  
(モルタル供試体)



(a) Stage 1  
(破壊荷重の 93%まで)  
(b)全データ  
図-5 SiGMA 解析結果  
(ビニロン繊維補強コンクリート供試体)

-5 にビニロン繊維補強コンクリート供試体の各 Stage における SiGMA 解析結果を示す。SiGMA 解析結果より、どの種類の供試体でも、Stage1 では両載荷板付近に集中してクラックが位置標定されていることが確認できる。全データになるとより多くの AE イベントが位置標定され、両載荷板付近から供試体中心部に向けて AE イベントが進行していることが確認できる。また、側面図に見られるようにどちらかの端部に偏って AE 発生源が進行している傾向が確認できる。このことから、載荷板付近から端部近くで微小クラックが繋がり、供試体内部への進展しそれと同時に破断面を形成していったと考えられる。

図-6 に時間毎の SiGMA 解析によるクラック分類結果を示す。図-6 より、コンクリート供試体は時間経過と共に段階的にせん断型の AE イベントが増加しているが、ビニロン繊維補強コンクリートは終局時までせん断型の AE イベントが抑制され、終局時に急激にせん断型の AE イベントが増加していることが確認できる。よって、ビニロン繊維補強コンクリートは繊維補強の影響が強く出ていることが分かる。このことから、コンクリート供試体とビニロン繊維補強コンクリート供試体ではせん断型の AE イベントの出方が異なることが確認された。



(a) コンクリート供試体 (b) モルタル供試体  
(c) ビニロン繊維補強コンクリート供試体

図-6 時間毎におけるクラック別 AE イベントの推移

5. 参考文献

1) 大津政康, 重石光弘, 湯山茂徳, 岡本亨久: AE モーメントテンソル解析のための SiGMA コードの開発, 非破壊検査, Vol.42, No.10, pp570-575, 1993.