

## 鉄筋コンクリート梁におけるせん断破壊機構の SiGMA 解析

熊本大学工学部環境システム工学科 学生会員 ○沢田陽佑  
 熊本大学大学院自然科学研究科博士前期課程 学生会員 下菌晋一郎  
 熊本大学大学院自然科学研究科博士後期課程 非会員 大野健太郎  
 熊本大学大学院自然科学研究科教授 正会員 大津政康

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 梁のせん断破壊は急激な脆性破壊のため構造物に甚大な被害をもたらす。また、破壊機構に関する研究データは曲げ破壊に比べ乏しい状況にある。そこで本研究では、RC梁のせん断スパン内におけるせん断破壊に着目し、その破壊メカニズムを解明することを目的とした。実験ではRC梁供試体への荷重時にAEモニタリングを行い、得られたAE波にSiGMA解析<sup>1)</sup>を適用することで、せん断破壊メカニズムを定量的に評価することを試みた。また、AEパラメータ解析<sup>2)</sup>を行い、SiGMA解析結果との比較についても考察した。

### 2. 解析理論

#### 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 波の到達時間 T と A を読み取り、(1) 式に代入する。

$$A = C \operatorname{Re}(s, r) \gamma_p \gamma_q m_{pq} \frac{1}{R} \cdots (1)$$

ここで、Cは弾性体の材料係数、Re(s,r)は反射係数、 $\gamma_p$ 、 $\gamma_q$ はAE波のセンサへの入射方向r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。SiGMA解析により、モーメントテンソル $m_{pq}$ を固有値解析することで、AE発生源であるマイクロクラックの位置、形成モードおよびクラック面の方向を定量的に逆解析できる。

#### 2.2 AEパラメータ解析<sup>2)</sup>

AEパラメータのRA値(立ち上がり時間/最大振幅値)と平均周波数(カウント数/継続時間)を算出し、これ

らの値を用いて、発生しているひび割れが主として引張型(Tensile-mode)かせん断型(Shear-mode)かの識別を行った。

### 3. 実験概要

表-1 コンクリート配合設計表

粗骨材の最大寸法 (mm)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	S	G		AE剤(g/m <sup>3</sup> )
						5~12(mm)	12~20(mm)	
20	55	42	175	318	717	589	589	127

実験に使用した供試体の概要とコンクリート配合を図-1、表-1に示す。コンクリートの28日圧縮強度は29.7kN/mm<sup>2</sup>、引張強度は3.03kN/mm<sup>2</sup>であった。せん断スパンの一方には100mm間隔でせん断補強鉄筋(スターラップ、 $\phi:5\text{mm}$ )を5本設置し、もう一方にはせん断補強筋を設置しなかった。荷重試験は、支点間距離1800mm、荷重点間距離1000mm(図-1参照)で実施した。荷重試験と同時にせん断補強鉄筋を有しないせん断スパン内のAE計測を行い、供試体の破壊に伴いAE計測を終了した。AE計測にはDiSP(PAC社製)を使用し、AEセンサはR15(共振周波数:150kHz)を用いた。SiGMA解析を行うためには6チャンネル以上のAEセンサが必要であり、本実験では、供試体の片側のせん断スパン部に8チャンネルを取り付けた。AEセンサによって検出された信号はプリアンプによって40dB増幅した後、さらにメインアンプにて20dB増幅させて記録させた。DiSPでは、メインアンプ出力のセンサ出力比が42dB以上となったところでトリガを機能させ、サンプリング周波数1MHzで信号波形をA/D変換し、1波形を1024wordsとして記録した。

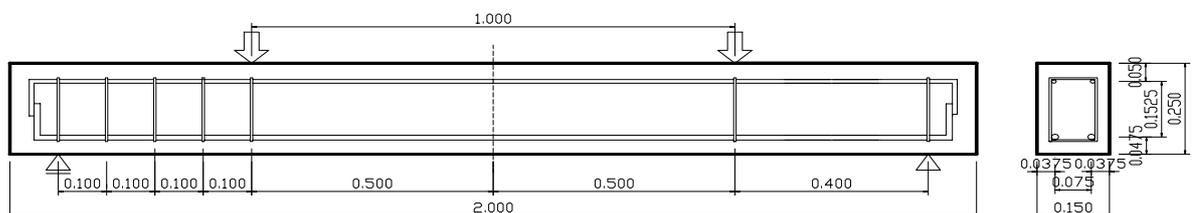


図-1 実験概要図(側面図、断面図 単位:m)

4. 結果および考察

4. 1 AE パラメータ解析結果

AE ヒット数と載荷荷重の時間的変化を図-2に示す。なお最大荷重は 96.1kN であった。

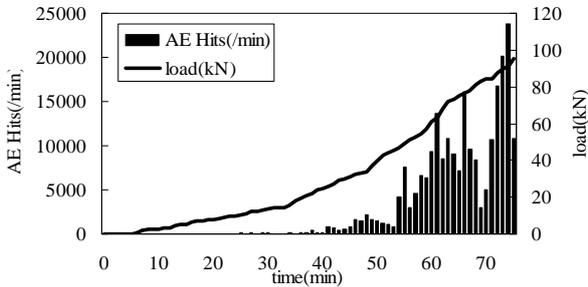


図-2 AE ヒット数と載荷荷重の時間的

次に、各センサで検出されたAEヒットについて、ひび割れの識別に効果を発揮するRA値と平均周波数の関係<sup>2)</sup>を適用し、考察を行った。RA値と平均周波数の関係を図-3、そこで得られた引張型とせん断型の割合を表-2に示した。載荷試験中、載荷荷重が約 46.0kN で目視により曲げスパン内に曲げひび割れが入るのを確認した。表-2より引張型ひび割れの割合が卓越しているのは、こうした曲げスパン内に発生したAEやせん断スパン内においてコンクリート表面に形成される斜めひび割れの影響もあると考えられる。

表-2 引張型とせん断型の割合

Tensile-mode	Shear-mode
69.1%	30.9%

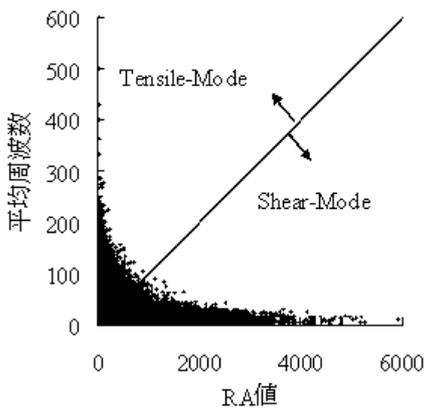


図-3 RA 値と平均周波数の関係

4. 2 SiGMA 解析結果

今回の SiGMA 解析において、イベントを定義するための Event Definition Time (EDT: 到達時間差) は 95 μ sec に設定した。SiGMA 解析結果についてせん断スパン内での AE の発生位置と種類を図-4に示す。図-4において、x 軸は幅方向、y 軸は軸方向、z 軸は高さ方向を

表す。y 軸は供試体中央からの距離であり、載荷点から供試体の端部までを表示している。AE イベントについて、そのせん断成分が占める割合 (せん断成分比) により、その AE イベントの形成モードを類別した。せん断成分比が 0~40% のものを引張型、60~100% のものをせん断型、40~60% のものをせん断と引張の混合型の AE と分類した。図中に破壊時に入ったひび割れを表示している。引張型とせん断型の AE の位置標定結果に着目すると、引張型の AE はせん断型の AE に比較して、供試体下部にプロットされている。これより、供試体底部に入ったひび割れにより引張型の AE が発生し、その後ひび割れが進展することに伴い、せん断型の AE が卓越するものと考えられる。表-3に類別された形成モードと AE 発生頻度の割合を示す。これよりせん断型の AE が卓越していることが確認される。また、y 軸の 0.5m~0.7m の範囲に位置標定されなかった要因は、EDT の設定に問題があったと考えられる。

表-3 形成モードと AE 発生頻度の割合

Tensile-mode	Mixed-mode	Shear-mode
29.73%	16.22%	54.05%

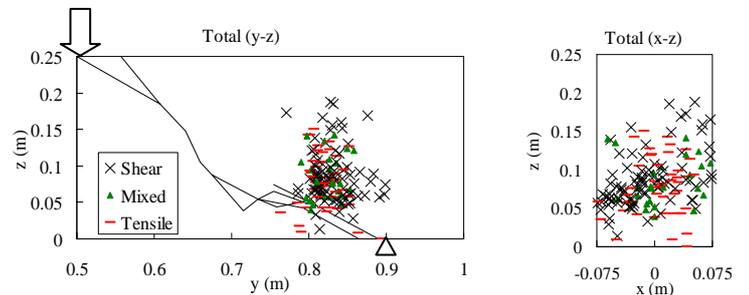


図-4 SiGMA 結果

表-2、3について、形成モードの割合の相違は、AE パラメータ解析がせん断スパン内全体の AE を網羅しているのに対し、SiGMA 解析結果ではせん断破壊面付近での AE を識別したためと考えられる。

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, 1993.10
- 2) コンクリートの非破壊検査方法・アコースティック・エミッションによるコンクリートのひび割れ監視方法, 社団法人日本建材産業協会規格, pp47-64, 2003