

鉄筋コンクリートせん断破壊の AE 発生機構の SiGMA 解析による解明

熊本大学大学院自然科学研究科 学生会員○下藺晋一郎

熊本大学大学院自然科学研究科 学生会員 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

RC 梁のせん断破壊は、コンクリート断面にせん断力と曲げモーメントが混在して作用するため複雑かつ急激な破壊形式をとる。せん断破壊については多くの人々により研究が行われてきたが、せん断破壊の破壊力学的な解明についてまだ十分でないのが現状である。

そこで、RC 梁のせん断破壊に着目し、せん断スパン有効高さ比 (a/d) を 1.97 として RC 梁供試体を作成し、その 4 点曲げ載荷試験を実施した。微細レベルでの破壊現象に対して高い検出能力を発揮する AE 計測を行い、SiGMA (Simplified Green's functions for Moment tensor Analysis) 解析¹⁾を実施し、せん断破壊の発生プロセスや破壊メカニズムについて考察した。

2. SiGMA 解析理論

AE 波動の基礎理論によれば、AE センサに到達してくる AE 波の第一波の初動振幅値 A は次式で表される。

$$A(x) = C_s \cdot \frac{Re f(t, \gamma)}{R} \cdot \gamma_p \gamma_q M_{pq} \cdot DA \quad (1)$$

ここで、 C_s はセンサ感度も含めた材料の物性値の係数、 R はひび割れ発生点と検出点間の距離、 γ_p 、 γ_q はその方向余弦ベクトル意味する。また、 DA はクラック面積であり、 $Ref(t, r)$ はセンサ設置点での反射を考慮した反射係数である。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 階のテンソルであるので、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。本解析では、AE 発生源を図-4 に示すように引張型、混合型、せん断型の三つに分類した。

3. 実験結果及び考察

3. 1 実験概要

実験に使用した供試体の概要を図-1 に示す。一方のせん断スパン内のみ、せん断補強鉄筋 (スターラップ、 $\phi: 5\text{mm}$) を 100mm 間隔で設置した。4 点曲げ載荷試験は、支点間距離を 1800mm、載荷点間距離を 1000mm として実施した。載荷試験と同時に集中的にせん断スパン内の AE 計測を行い、供試体の破壊に伴い計測を終了した。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。本実験では、図-2 に示すように供試体のせん断補強鉄筋を配置していないせん断スパン部に 8 個の AE センサを取り付けた。AE センサによって検出された信号は、プリアンプ 40dB、メインアンプ 20dB の計 60dB 増幅されて記録された。DiSP では、しきい値を 42dB に設定し、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 のデータとして記録した。

3. 2 SiGMA 解析結果

本実験で検出された AE ヒット数と載荷荷重の時間的变化を図-3 に示す。載荷荷重の増加に伴い、AE ヒット数も増加する傾向がみられた。

本解析に使用した AE イベントは 8 個の AE センサ

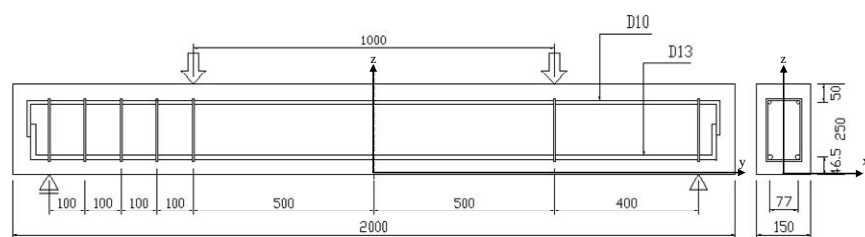


図-1 RC 梁概要図

単位 (mm)

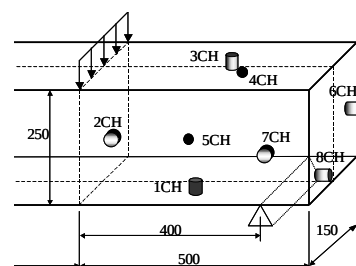


図-2 センサ配置図 単位 (mm)

すべてにおいて検出されたものとした。まず、図-3の AE 発生頻度のパターンより、載荷開始から破壊までを3段階に分けた。載荷開始から AE ヒット数が増大する前の 53 分までを Stage-1 (53 分間)、54 分から AE ヒット数がピークを迎えその後減少する 68 分までを Stage-2 (15 分間)、69 分から破壊までを Stage-3 (7 分間) とした。また同一設計の供試体で、しきい値を 45dB に設定した供試体においても、AE 発生頻度の特徴より、同様の AE 発生挙動が確認された。図-5 に SiGMA 解析結果について、せん断スパン内での AE イベントの位置標定およびクラック形成モードを示す。Stage-1 では、AE ヒット数が少なかったため AE イベントの数も少なく、曲げスパンに近い場所に主に引張クラックが位置標定された。これは、曲げ引張ひび割れに対応すると考えられる。Stage-2 では、数多くの AE イベントが検出され、Stage-1 に比べ、位置標定結果がせん断スパン中央に移動していることがみてとれる。このことより、載荷荷重が増加してくると、コンクリート内部の微小クラックが曲げスパン近傍からせん断破壊面付近へ移行していくことが確認できる。Stage-2 では、目視による供試体表面へのせん断ひび割れは確認されていないが、この段階においてせん断スパン内にはすでに、数多くの微小クラックが存在していたことがわかった。Stage-3 では、せん断型クラックはせん断スパン中央付近に集中し、引張型クラックは載荷点と支点付近に位置標定結果が進展していることが確認できる。この Stage-3 の時期にせん断スパン高さ中央付近に斜め引張ひび割れが目視により確認され、その後、載荷点と支点方向へ急激に進展して破壊した。図-5 は、すべての AE イベントと共に最終的に形成

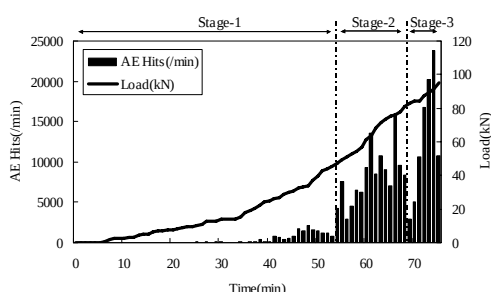


図-3 AE ヒット数と載荷荷重の時間的



図-4 クラックモデル

されたせん断ひび割れを示している。この図から、ほとんどの AE イベントは、このせん断ひび割れの周辺に位置標定されていることが確認できる。Stage-2、Stage-3 においてせん断スパン中央に AE イベントが集積し、載荷荷重が増加するにつれて引張型クラックが先行し、徐々に AE イベントがつながるように載荷点、支点方向へひび割れが進展していくと考えられる。

4. まとめ

(1) AE 発生頻度のパターンより、載荷開始から破壊までに3段階の AE 発生挙動が確認された。

(2) SiGMA 解析により以下の結果が得られた。

- ・載荷初期段階では、曲げスパン近傍に AE イベントが位置標定されることが確認できた。

- ・載荷中期では、AE イベントがせん断スパン中央付近へ移動してくることが確認できた。また、目視によるせん断ひび割れが確認される以前に、数多くの微小クラックが存在していた。

- ・せん断ひび割れの発生プロセスは、載荷中期・末期においてせん断スパン中央に AE イベントが集積し、引張型クラックが先行して徐々に AE イベントがつながるように載荷点、支点方向へひび割れが進展していくことが確認できた。

常時モニタリングできる AE 法と SiGMA 解析を適用することで、コンクリート内部の AE 発生プロセスを解明できる可能性が示唆された。

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、pp.570-575、1993。

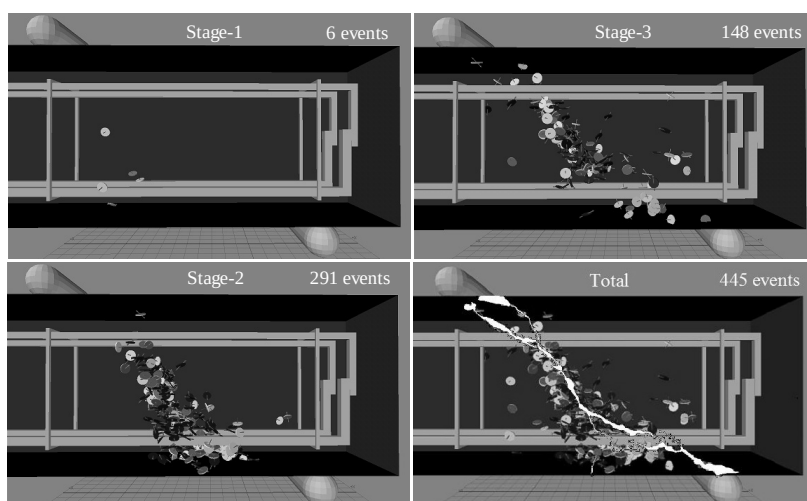


図-5 SiGMA 解析結果