

コンクリート割裂破壊過程の SiGMA 解析

熊本大学大学院自然科学研究科博士前期課程 学生会員 ○野崎 渉太
 熊本大学大学院自然科学研究科教授 フェロー会員 大津 政康

1. はじめに

現在まで、コンクリート割裂試験における破壊現象、すなわちひび割れの発生・進行メカニズムは明らかにされているとは言えない。アコースティック・エミッション(AE)法は、微細レベルでの破壊現象に対して高い検出能力を発揮し、AE法により直接確認することが困難なコンクリート内部の破壊進行状況が把握可能であることから本研究では、コンクリートの割裂試験時にAE法を適用し、微小破壊の進行過程から破壊メカニズムの考察を行った。

2. 解析手法

2.1 SiGMA 解析¹⁾

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。

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

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、 γ_p 、 γ_q は AE 波のセンサへの入射方向 γ 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

本実験に際し、直径 150mm、長さ 300mm の円柱コンクリート供試体を 2 個作製した。コンクリート供試体

の示方配合を表-1 に示す。

予備試験より単調荷重の割裂試験では、詳細な破壊過程を把握することが困難であると考えられた。そこで本実験では、検出される AE 信号が時間的に分散され、ひび割れ進展結果の考察を容易にするため、漸増繰り返し荷重による割裂試験を行った。また、円形断面の破壊過程を詳細にし、そして長さ方向の AE 発生源のばらつきを低減するため、供試体寸法は直径 150mm、長さ 100mm の供試体とし 6 個の実験を行った。実験概要図を図-1 に示す。AE 計測には、AE Win SAMOS(PAC 社製)を使用し、AE センサは R15I-AST を 8 個用い、AE センサはエレクトロニックワックスにて貼付した。また、供試体上面と下面にテフロンシートを挿入することにより、荷重摩擦により発生する AE の低減に努めた。SiGMA 解析を適用するためには 6 個以上の AE センサが必要であり、既往の研究²⁾より SiGMA 解析では 8 個の AE センサを用いることで高精度なクラック分類が可能であるため、解析に使用する AE イベントは 8 個すべての AE センサで同定されたものとした。なお、設定しきい値は、40dB として計測を行った。

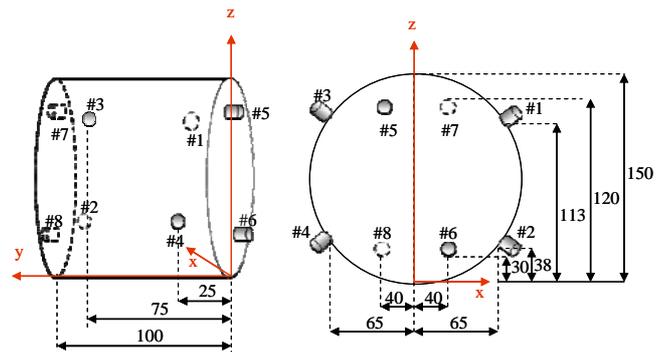


図-1 実験概要図 単位:mm

表-1 コンクリート供試体の示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 W/C(%)	空気量 (%)	細骨材比 s/a(%)	単位量(kg/m ³)				AE減水剤 (g)	AE助剤 (g)
					水W	セメントC	細骨材S	粗骨材G		
20	8	55	6	44.1	164	300	772	1160	708	0.6

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, 漸増繰り返し荷重

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

4. 実験結果

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の1例を図-2に示す。棒グラフは、10秒間で検出されたAE ヒット数を示しており、載荷サイクルの増加に伴いAE 信号が多く検出されている。また、以前の載荷履歴に対しては、先行荷重値を越えて載荷されなければAE 信号がほとんど検出されないというカイザー効果³⁾が顕著に確認される。また、載荷荷重が増加していくに伴い、AE ヒット数も増加する傾向が見られ、破壊寸前にはAE ヒット数が卓越して検出された。ここで、破壊メカニズムを時系列ごとに認識するために、図-2において5サイクルの載荷履歴に対し、実験開始から載荷履歴4サイクルまでをStage1、破壊に至る5サイクル目をStage2として、2段階に分けて考察を行った。

4.2 SiGMA 解析結果

AE イベントについて、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、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。そして、SiGMA 解析結果を3次元空間で把握するために、本研究ではLight Wave 3D (New Tek 社製)にて図化を行った。図-3にSiGMA 解析結果に用いたクラックモデルを、図-4にSiGMA 解析結果の例を示す。Stage1で両載荷板付近からAE 発生源が同定された。Stage2では、多くのAE 発生源が同定され、両載荷板付近から供試体中心部に向けてAE 発生源が同定されていることが確認できた。全てのAE イベントと最終的に形成されたひび割れとの対応を示したTotalから、同定されたAE イベントはひび割れ面に集中しており、AE イベントとひび割れの一致が確認された。

全ての供試体のSiGMA 解析の結果より、割裂試験の初期ひび割れ発生位置は、供試体断面(x-z面)に関して、供試体と載荷板が接する位置、すなわち圧縮力が卓越する位置であることが確認された。また、供試体側面(y-z面)では、供試体内部の破壊が先行するよりも、供試体の外面(端面)から破壊が進行し、その後供試体内部に向かって破壊が進行し、最終的に他面にひび割れが延びて主破壊に至ったと考えられる。このことから、割裂試験での破壊進行メカニズムは、供試体端面の載荷面である局所的な位置において破壊領域が形成され、

その後、破壊領域が拡大し、主破壊に至る過程と考えられる。特に、初期ひび割れは、載荷面付近に形成される可能性が示唆された。

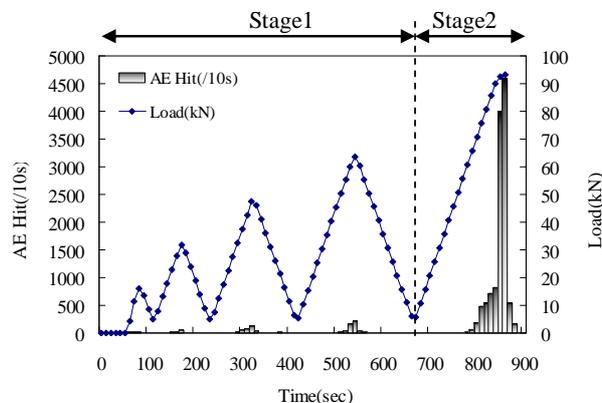


図-2 AE ヒット数と載荷荷重の時間的変化



図-3 SiGMA 解析結果のクラックモデル

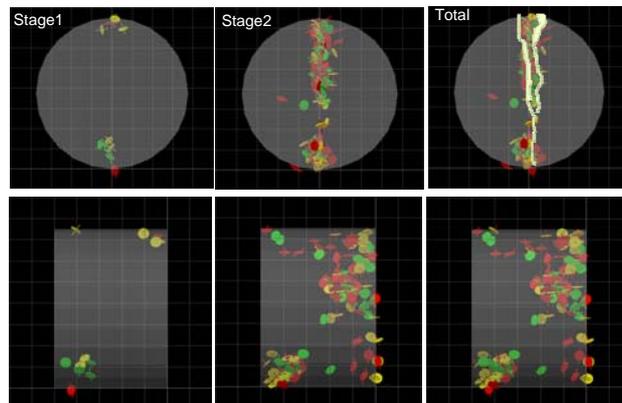


図-4 SiGMA 解析結果

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.
- 2) 大野健太郎: アコースティック・エミッション法の波形解析によるコンクリート破壊機構解明に関する研究, 熊本大学学位論文, pp.52-63, 2008.
- 3) 大津政康: アコースティック・エミッションの特性と理論(第2版), 2005