コンクリート曲げ破壊過程のSiGMA解析

熊本大学工学部環境システム工学科　学生会員　○赤坂康太
熊本大学大学院自然科学研究科博士後期課程　学生会員　大野健太郎
熊本大学大学院自然科学研究科博士前期課程　学生会員　沢田陽佑
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

コンクリートとモルタルではひび割れ進展に関して異なる挙動を示すことが知られている。この要因としてコンクリートとモルタルの違いである骨材の有無が影響していると考えられる。AE計測は微細レベルでの破壊現象に対し高い検出能力を発揮することから、構造物の健全性評価などの非破壊検査手法として注目を浴びている技術である。コンクリートの特徴は脆性破壊を起こすことであり、コンクリート内部を目視で確認することが困難であるが、AE法を適用することで常時モニタリング、内部の詳細な破壊進行状況が把握可能になる。したがって、コンクリートおよびモルタル供試体の曲げ破壊過程にAE法を適用し、骨材がひび割れ進展におよぼす影響について考察した。

２．解析理論

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。

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

ここで、C_sは弾性体の材料係数、DAはクラック面積、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

実験に使用したコンクリート標準角柱供試体とモルタル標準角柱供試体の示方配合を表—1、表—2に示す。

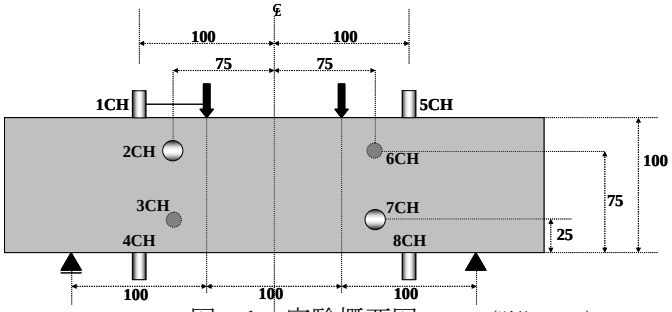
実験は、支点間距離100mm、載荷点間距離300mmとして、４点曲げ載荷試験を実施した（図—1参照）。同時にAE計測を行い、供試体の破壊に伴いAE計測を終了した。AE計測にはDiSP（PAC社製）を使用し、AEセンサはR15（共振周波数：150kHz）を８個用いた。SiGMA解析を行うためには６チャンネル以上のAEセンサが必要であり、解析に使用するAEイベントは８チャンネル全てのセンサで同定されたものとした。AEセンサよって検出された信号はプリアンプによって40dB増幅した後、さらにメインアンプにて20dB増幅させて記録させた。しきい値を38dBとし、周波数帯域を10kHz—2MHzとしてAE計測を行い、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。

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)	スランプ(cm)	空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)	
20	8.7	5.9	55	43.4	
単位量(kg/m^3)					
W	C	S	G	AE減水剤	AE助剤
164	300	744	1178	1.08	0.012

表—2.モルタル供試体の示方配合

	単位量(kg/m^3)		
W/C(%)	W	C	S
55	331	602	1204

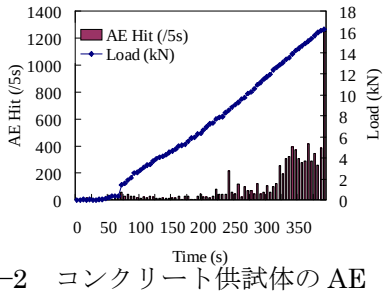


図—1　実験概要図　（単位：mm）

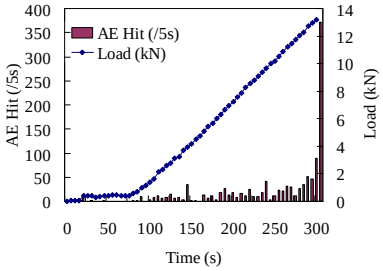
４．結果および考察

４．１　AE パラメータ解析結果

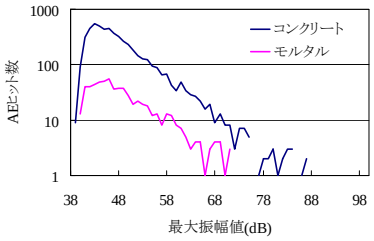
図―２にコンクリート供試体、図―３にモルタル供試体の本実験で検出された AE ヒット数と載荷荷重の時間的変化を示す。両供試体で破壊時に AE ヒット数が卓越しているのが分かる。また、コンクリート供試体では、モルタル供試体に比べ、ピーク直前から AE ヒット数が頻発していることが確認された。図―４に両供試体の振幅値分布を示す。39dB と 74dB の間で両供試体の振幅値分布の傾きは等しく、破壊の規模を表す b 値は同程度であることが分かる。コンクリート供試体は破壊直前にひび割れを目視で確認することができたのに対し、モルタル供試体の場合はひび割れを確認することができないまま瞬時に破断した。このことがピーク直前の AE ヒット数と関係していると考えられ、さらにコンクリート供試体のみで75dB 以上の振幅値が検出されていることから骨材の影響が AE ヒット数の違いと振幅値分布の差につながったと考えられる。



図―2　コンクリート供試体の AE ヒット数の時間的変化



図―3　モルタル供試体の AE ヒット数の時間的変化



図―4　コンクリートとモルタルの最大振幅値の違い

４．２　SiGMA 解析結果

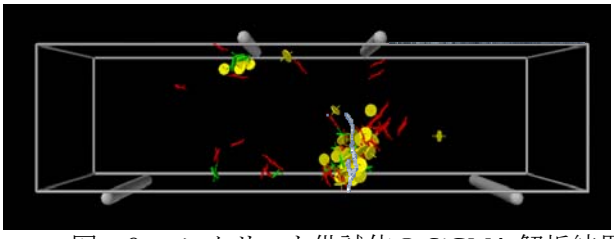
AE イベントについて、モーメントテンソルのせん断成分が占める割合（せん断成分比）により、AE イベントの形成モードを類別した。せん断成分比が 0~40%のものを引張型、60~100%のものをせん断型、40~60%のものをせん断と引張の混合型の AE と分類した。そして、SiGMA 解析結果を３次元空間で把握するために、Light Wave3D（New Tek 社製）にて図化を行った。図―５に SiGMA 解析結果に用いたクラックモデル、図―６にコンクリート供試体、図―７にモルタル供試体の SiGMA 解析結果を示す。モルタル供試体では、AE イベントの数は少なく、供試体下部にクラックが集中した。コンクリート供試体では多くの AE イベントが同定され、載荷初期では供試体上部に AE 発生源が位置標定された。その後、供試体下部に引張型クラックが生じ、供試体が破壊したことが確認された。また両図より AE 発生源の位置はひび割れ面と一致していることがわかる。以上のことから、曲げひび割れ進展が骨材により抑制されている様子が AE 法により明らかとなった。

参考文献

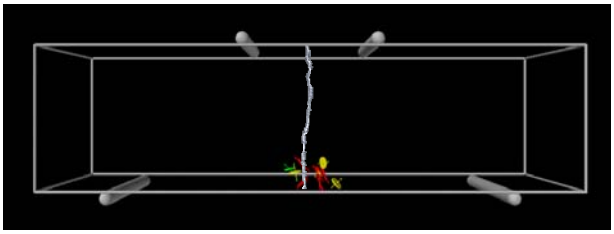
１）大津政康，重石光弘，湯山茂徳，岡本亨久：AE モーメントテンソル解析のための SiGMA コードの開発，非破壊検査，Vol.42，No.10，pp570-575，　1993.

(a) せん断型　(b) 混合型　(c) 引張型

図―5　クラックモデル



図―6 コンクリート供試体の SiGMA 解析結果



図―7 モルタル供試体の SiGMA 解析結果