

スマート AE センサによる構造物のモニタリングに関する実験的研究

○池ヶ谷 靖¹ , 柳瀬 高仁¹

Experimental Study on Health Monitoring for Structure Used by Smart AE Sensor

SEI IKEGAYA¹ and TAKAHITO YANASE¹

概 要

スマート AE センサは、従来の AE センサの機能を簡略化することにより、センサ自体をスマート化して、データの検出・処理・記録・通信機能を持たせた新しいセンサである。鉄筋コンクリート造試験体にこのセンサを取り付け、構造実験を実施した。実験の結果、試験体が損傷する時に多くの AE 信号を受信した。スマート AE センサは、構造物の損傷を検出でき、実用的なヘルスマニタリングに適用できる。

キーワード：スマート AE センサ，構造物診断，ヘルスマニタリング

1. はじめに

AE センサを用い、構造物の損傷を検出するシステムは以前から用いられているが、実験的な適用に終わっていることが少なくない。理由として、AE システムは高価で使いにくいものがある。その原因は、き裂発生・進展箇所の AE 波を複数のセンサで受信し、ノイズと信号の弁別、信号発生位置の同定・評価等に複雑なシステムを必要とするためと考えられる。

鉄筋コンクリート造構造物では大地震時にき裂の発生が予想される。き裂発生・進展位置を予測して、その周辺に AE センサを設置することによって簡便で安価な AE センサを用いた構造物の損傷検出システムを実現することが可能である。

コンクリート系試験体に AE センサを取り付けた実験を行った結果、AE 信号の発生時刻と度数が試験体の損傷過程と対応することが確認できた。

そこで、さらに概念を発展させ、損傷位置の同定は行わず、測定データの処理・保存・外部との通信機能をセンサ自体に有するスマート AE センサを試作した。このセンサは、取り付けた周辺のき裂発生・進展を検出し、検出結果を管理者に送信する。損傷の確認及び評価は検査員が現地調査を行い、最終的な判断を行う。

2. コンクリート系制震デバイスの実験

図 1 に示すように、大地震時のエネルギー吸収を目指したコンクリート制震デバイスの開発が行われており、このデバイスの損傷検出は大地震後の性能を保証する上で重要である。この損傷を検出する方法として AE 法がある。

2.1 デバイス単体の繰返し加力実験

コンクリート系制震デバイスの損傷過程と AE 信号の発生との関係を検証するため、デバイス単体の加力実験を行った。



図 1 コンクリートデバイス

¹ 株式会社ジャスト，〒225-0012 横浜市青葉区あざみ野南 2-4-7

JUST Co.Ltd. 2-4-7 Azamino Minami Aoba-ku Yokohama-city

(1) 試験体と試験方法

試験体は、主筋をX形配筋し、ポリエチレン繊維を混入したコンクリート制震デバイスとした。AE信号の測定方法は、図2に示すようにコンクリートデバイスと治具部にAEセンサ(共振周波数140kHz狭帯域)を取り付け、加力中1秒間隔でAE信号の発生度数を検出した。

コンクリートデバイスで問題となるき裂は幅が比較的広くなることが予想され、さらにAE信号には鋼製の治具や加力装置からのノイズの混入が予想される。このことから、AE信号受信の感度設定は低感度の5mVとした。図3に示す測定回路でデータを収集しパソコンに転送した。

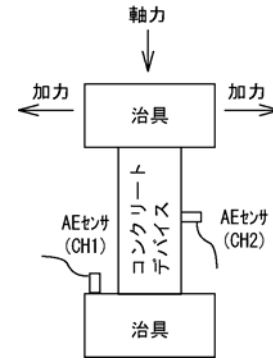


図2 試験体とAEセンサ

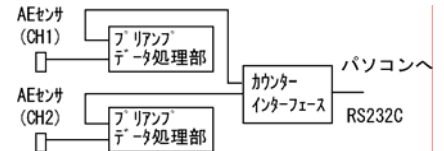


図3 AE法測定回路

(2) 実験結果

AE信号の発生度数と加力サイクルとの関係を図4に示す。AE信号は、載荷時に多く発生し、除荷時の発生度数は少なかった。金属治具に取付けたセンサー(CH2)では、実験を通じて平均的にAE信号が発生しており、加力サイクルによる顕著な差はなかった。

これに対して、コンクリートデバイスに取付けたセンサー(CH1)では、小さな変位ではAE信号の発生頻度が少なかったが、変位が大きくなるとAE信号の発生頻度が増加した。とくに、新しく経験する変位の最初のサイクルではAE信号の発生頻度が増加した。また、CH1とCH2のAE信号は多くの場合異なる時刻に発生していた。

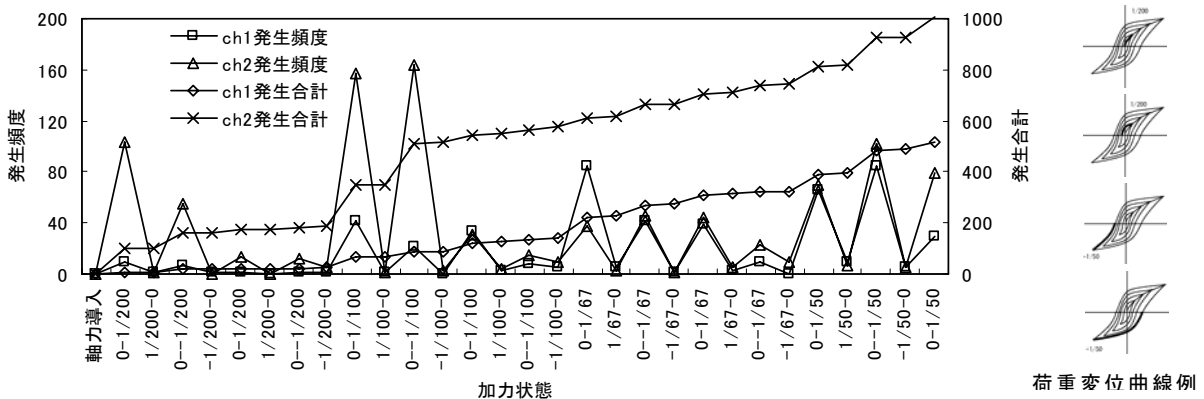


図4 加力状態とAE信号発生頻度

2.2 大型試験体のコンクリートデバイスへのAE法の適用

(1) 試験体と試験方法

図5に示す3層鉄骨造の大型試験体へ地震波を加え、1層・2層のコンクリート制震デバイスにAEセンサを取り付けAE信号の発生度数を測定した。

(2) 実験結果

コンクリートデバイスの変位とAE信号の発生度数を図6及び図7に、コンクリートデバイス内の鉄筋のひずみとAE信号の発生度数を図8及び図9に示す。図に示すように、変位の最大値(或いは鉄筋の最大ひずみ)とAE信号の発生頻度は相関関係が強い。

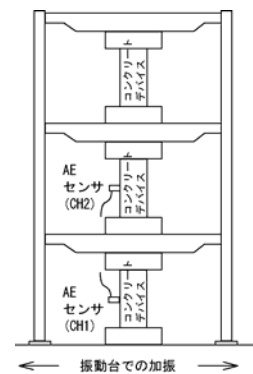


図5 大型試験体

AE信号とコンクリートデバイスのき裂発生に関しても、デバイス表面の観察によって明確な関係が確認されたが、複合材料のためき裂の開放幅が極端に狭く、定量的な関係は把握できなかった。

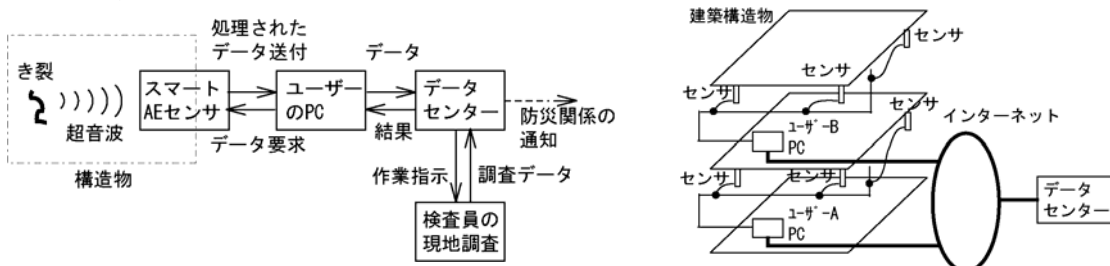
入力波がエルセントロ5cm/sの場合のAE信号の発生度数と入力波がエルセントロ60cm/sの場合のAE信号の発生度数を図10及び図11に示す。図に示すように小さな入力ではAE信号の発生度数が低く、大きな入力ではAE信号の発生度数が高い。ただし、デバイスの最終的な損傷に至るまで加力を行わなかったため、大きな損傷とAE信号の関係を確認することはできなかった。

3. スマートAEセンサ

3.1 スマートAEシステムのご概念

コンクリートデバイス試験体の実験から、AE信号の発生時刻と頻度で構造物の損傷を検出できる可能性が見出された。そこで、損傷位置の同定を必要としない低コストのスマートAEシステム（以下SAEと略す）を試作した。その概要を以下に示す。

- (1) 損傷検出をき裂発生・進展時のAE信号の単位時間の度数で行う。
- (2) AEセンサ自体に検出・データ処理・保存・通信を持たせる。
- (3) 通信は時刻と度数のデジタルデータとし、異常を検出した場合のみとする。
- (4) 建物全体の状況は各層のPCからインターネット経由で収集する。
- (5) 異常検出時は現地調査を行いそのデータに基づいて損傷程度の判断を行う。



(a) システムのご概念 (b) データの流れ
 図12 スマートAEセンサによる損傷検出システム

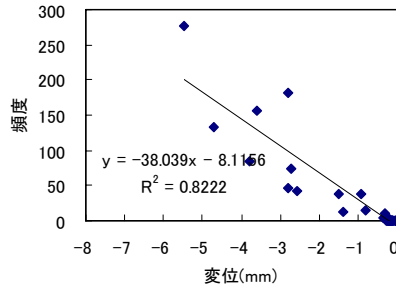


図6 変位とAE信号（-側）

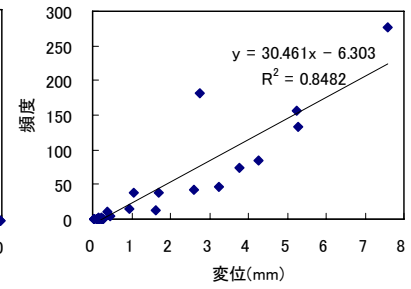


図7 変位とAE信号（+側）

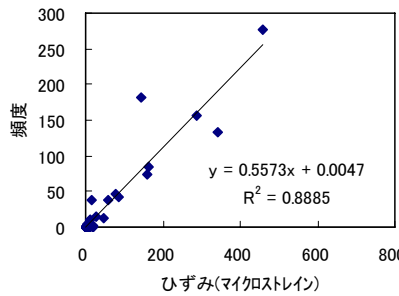


図8 平均ひずみとAE信号

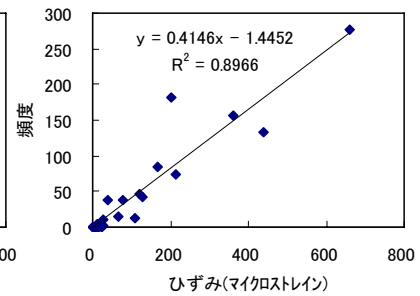


図9 最大ひずみとAE信号

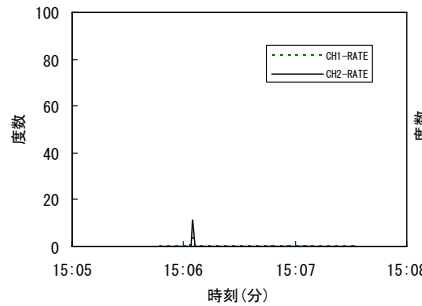


図10 AE信号頻度
 (エルセントロ5cm/s)

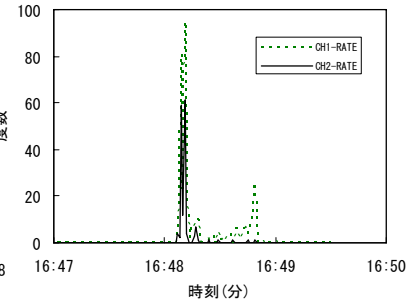


図11 AE信号頻度
 (エルセントロ60cm/s)

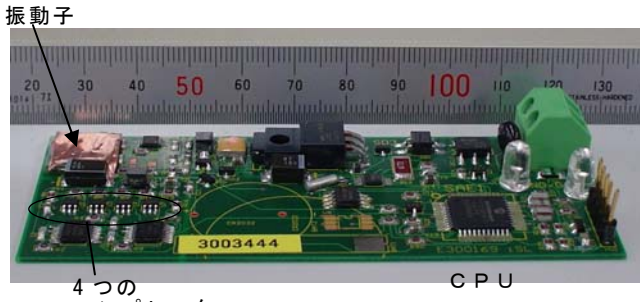


写真1 スマート AE センサ

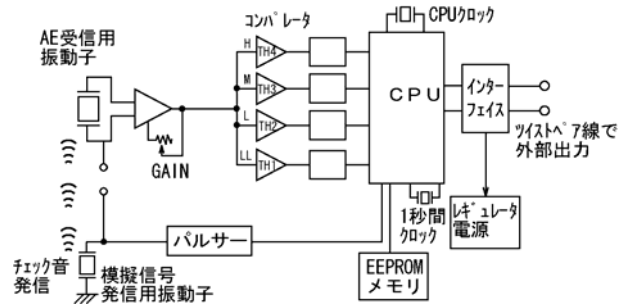


図13 ブロック図

3.2 柱の構造実験

実物の約 1/2 の鉄骨鉄筋コンクリート造柱部材に SAE を貼り付けて構造実験を行った。試験体は、柱断面寸法が 400mm 角で、内法高さが 1,100mm である。試験体には、地震を想定して鉛直力と水平力を同時に加えている。水平力は正負交番の繰り返し荷重とし、鉛直力は水平力に応じて変動させた。

試験体の $R=1/50\text{rad}$. 終了時破壊状況を写真2に示す。全面にせん断ひび割れが発生し、柱頭部・脚部にコンクリートの圧壊が生じていた。

$R=1/67\text{rad}$. ~ $1/50\text{rad}$. の AE 信号発生経過を各変形サイクルごとに図14に示す。なお、AE 信号の検出レベルは4段階のうち最低 (LL) のものと2番目 (L) のものについて示した。AE 信号の発生度数は、各変形サイクルの前半部分で比較的多く発生しており、後半部分では少なくなっている。これは、前半部分の荷重を加えている段階で AE 信号が多く発生し、後半部分の除荷している段階では AE 信号の発生は少ないことを示している。また、変形サイクルの中央部付近に AE 信号発生のパイクがあり、これは変形サイクルの最大変形付近で多くの AE 信号が発生していることを示している。最も多くの AE 信号が発生しているのは、 $R=1/50\text{rad}$ の1回目であり、耐力低下を起こした時に最も多くの損傷が生じていることがわかる。

以上より、SAE は、新たに経験する変形で多くの AE 信号を受信し、耐力低下を示した変形で最も多くの AE 信号を受信していることなどから、AE 信号の発生度数を評価することにより構造物の損傷を検出することができる。

4. まとめ

スマート AE センサを構造実験に適用し、コンクリート系構造物では損傷の発生する時に多くの AE 信号を検出し、構造物の損傷を検出するのに有効である。また、AE センサをスマート化することによって、コストダウン (最終的に数万円/CH) と CH 数が大幅に増加してもリアルタイムに近い実用的な構造物のモニタリングを行うことができるものと期待される。

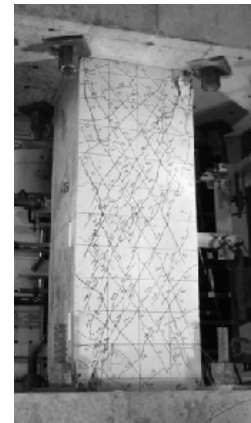


写真2 最終破壊状況

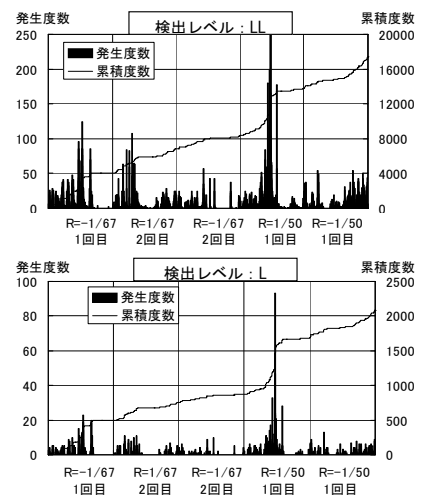


図14 AE 信号発生過程