

熊本大学 工学部 正 員 大津 政康

1. はじめに

アコースティック・エミッション(AE)現象とは、固体内部の微小破壊により発生する弾性波動現象である。その諸特性は、様々な分野で研究されているが、コンクリート材料の破壊機構の解明にも有益な情報をもたらすものと期待される。本報告は、コンクリート材料におけるAEの発生特性に関する基礎的研究の一環として、AE波動の発生機構である破壊機構の解明を目的とした波形解析法について実験的および解析的に考察した結果を述べたものである。

2. 破壊機構とAE波動の波形解析

AE現象は、材料内の微小破壊によって生じる。そのような微小破壊は、数学的には弾性体内部の動的な転位(変位のくい違い)として記述しうる。AEの発生機構を転位と考えるならば、検出点での加速度 $\ddot{u}_i(t)$ は、次のように表わされる。

$$\ddot{u}_i(t) = \int_0^t T_{ij}(t-t') [\ddot{u}_j(t')] dt' \tag{1}$$

ここで、 $[u_j]$ は転位面での変位の不連続量、 T_{ij} はそれに対応するグリーン関数である。

供試体内で生じたAEは、系内に伝播し供試体境界で変換子により電気信号に変換され、増幅器とフィルターを経て検出される。このAE波動の伝達経路を模式的に表わせば、Fig.1のようになる。式(1)は、図において変換子および検出システムにより加速度を検出していると考えた場合の式であり、 $s(t)$ は $[u_j]$ に、 $w_s(t)$ は T_{ij} に対応している。

式(1)に基づいて、AE波動からコンクリート材料の破壊機構を解明することは、AE発生源での種々のパラメータを決定することである。それらと波形解析法の関係を示せば、Fig.2のようになると考えられる。

発生機構を転位モデル $[u_j(t)]$ で記述するならば、発生源の運動学的要因とは、 $[u_j(t)]$ の規模、形状、方向などに関するものであり、動力学的要因とは、 $[u_j(t)]$ の時間関数形に関するものである。また、転位の位置は、図の上段に示したように、破壊源探索により求められる。以下では、この図に基づいて破壊機構を解明するための波形解析法の考察を行うが、破壊源探索法と放射形式^{2),3)}に関しては既に発表しているため、シミュレーション解析と逆合構について述べる。

3. 実験概要

破壊源探索により転位の位置が求められ、放射形式から、転位面および転位の変位成分の方向がわかれば、式(1)において T_{ij} が決定されたことになる。したがって、転位の時間関数形さえ与えれば、式(1)によってAE波動をシミ

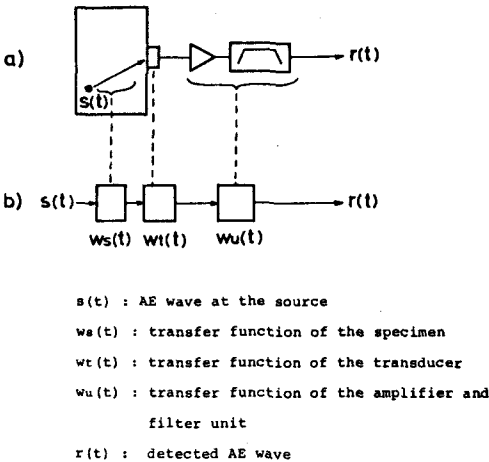


Fig.1 AE波動の検出システム

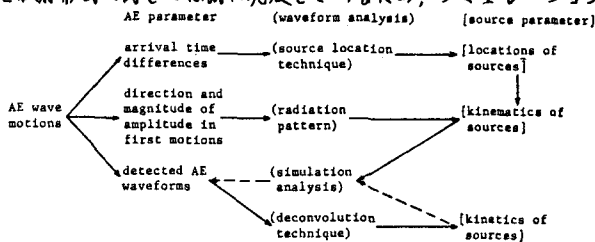


Fig.2 AEの発生機構と波形解析

ュレーション解析することができる。その場合、AEは供試体表面で検出されることから自由表面での波動であり、グリーン関数は半無限体に対するものを用いることが必要である。¹⁾

実験としては、引張クラックの際に発生するAE波動と破壊機構に関する検討を行った。Fig.3に示すように、コンクリート（セメント：水：砂：粗骨材＝1：0.63：2：4、骨材最大粒径 10mm）のモデル供試体（30cm×30cm×6cm）の上、下面の中央部に線荷重を載荷する割裂試験を行い、その際に発生したAE波動を供試体上面の図の点Eに設置したAE変換子905Sにより検出した。このとき、図の点A、B、C、Dに示すように供試体側面にも変換子を配置し、同時に破壊源探索を行って転位の位置を決定した。

4. 結果および考察

シミュレーション解析に際しては、載荷法および破壊形式より、転位モデルは、Fig.3の下段に示すような転位面に垂直な変位成分の不連続を持つ引張クラックであると考えた。その場合、図のように転位の変位成分の方向をx軸にとれば、AE変換子905Sは縦方向の振動子と考えられることから、式(1)は次のようになる。

$$\ddot{u}_3(t) = \int_0^t T_{31}(t-t') [\ddot{u}_1(t')] dt' \quad (2)$$

実験により検出されたAE波動と式(2)によってシミュレーション解析を行、た弾性波動の例をFig.4に示す。ここで、Fig.4(a)の波形は、破壊源探索の結果から転位の位置を求め、そこでFig.3に示すような引張クラックが生じたとして、検出点Eにおける加速度波形を式(2)に基づいて解析したものである。図で、a)の縦軸は電圧、b)では加速度を表わしている。ただし、実際の変換率は不明であるため、スケールは示していない。また、初動の到達時刻は、c)の解析波形では転位から検出点までの距離に対応している。a)の検出波形では、ウェーブメモリのトリガーした時刻が不明であるため、図中の初動到達前の時間に意味はない。図の結果より、実験の検出波形の初動部分は、シミュレーション解析波形とよく一致していることがわかる。

この結果は、検出波形を式(2)の $\ddot{u}_3(t)$ と考えることにより、逆に、式(2)から $[\ddot{u}_1(t)]$ を求める可能性を示している。これを解くことは、式(2)の右辺が合成積分で表わされていることから、逆合成積分とされている。そこで、式(2)をフーリエ変換し、周波数領域で式(2)の逆合成積分を行い、これを逆変換することにより転位の時間関数を求める手法を考察した。

Fig.4(a)に、それを適用して求めた $[\ddot{u}_1(t)]$ を図(c)に示す。図の破線は、シミュレーション解析の際に仮定した関数を示している。これより、コンクリート材料の微小破壊により発生するAE波動から破壊機構としての転位の関数を決定する可能性が示されたと考えられる。

参考文献

- 1) 丹羽, 小林, 大津, 土木学会論文報告集, 第314号, 125-136, 1981
- 2) 丹羽, 小林, 大津, 土木学会論文報告集, 第276号, 135-149, 1978
- 3) 丹羽, 大津, 仲村, 土木学会第36回年次講演会, V-68, 1981

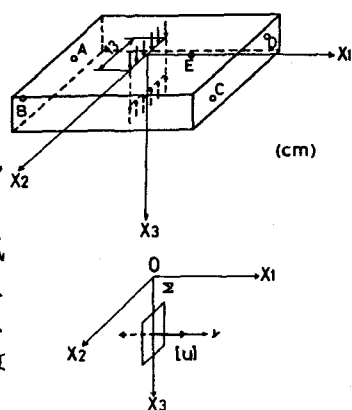


Fig.3 割裂試験供試体と転位モデル

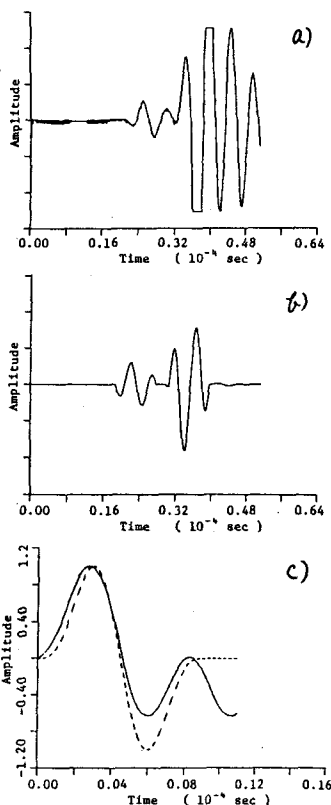


Fig.4 a)検出波形, b)シミュレーション解析波形, c)逆合成結果