

A E 波の定量的波形解析手法に関する考察

復建調査設計株式会社 正会員 ○福岡 貴己
熊本大学工学部 正会員 大津 政康

1. まえがき

コンクリート材料などのひび割れ発生によって放射される弾性波動現象である A E の発生数は非常に多く、1 回の実験で数百、数千というデータが得られる。特に最近の技術の進歩により計測チャンネル数も多くなり、したがって、データ数もさらに多くなってきた。しかし、破壊機構の解明には、これらの個々のデータに対する定量的な波形解析は不可欠である。そこで本研究では、モーメントテンソル解析 (S i G M A) で提案しているせん断寄与率 X とベクトル挟角 c の関係について明らかにした。さらに、初動波形のデータ化に関して A R モデル法による初動の自動検出能力と波形解析の後処理について検討した。

2. 波形解析手法

2. 1 S i G M A 解析

せん断型と引張型に対応するモーメントテンソルの固有値 e_1 、 e_2 、 e_3 を分解すると、次の式が得られる。

$$\begin{aligned} 1.0 &= X + Y + Z \\ e_2/e_1 &= 0 - 0.5Y + Z \\ e_3/e_1 &= -X - 0.5Y + Z \end{aligned} \quad (1)$$

この式より、せん断寄与率 X と引張寄与率 $(Y + Z)$ が決定できることになる。そこで、上式で得られるせん断寄与率 X と、クラックベクトル $\mathbf{l}$ と法線ベクトル $\mathbf{n}$ のなす角 c の関係について検討するために、数値解析を実施した。2つのベクトルより得られる $1 - \cos(c)$ と、モーメントテンソルの固有値解析の結果から式 (1) で決定されるせん断寄与率 X を比較した。つまり、2つのベクトルを仮定しモーメントテンソル成分を決定し、固有値解析結果から式 (1) におけるせん断寄与率 X を求めた。一方、せん断寄与率に対応して角度 $c = 0$ ならば 0% 、 $c = 90^\circ$ ならば 100% になる値として $1 - \cos(c)$ も計算した。実際には、式 (1) で最大固有値 e_1 によって正規化されない場合のせん断率に $1 - \cos(c)$ は等しくなることが分かっている。これらの結果を図-1に示す。実際に2つのベクトルのなす角 c に対して $1 - \cos(c)$ の値はかなり小さく、例えば、 $c = 60^\circ$ で 50% 、 $c = 45^\circ$ で 30% にしかならないことが分かる。ところが、せん断寄与率 X はさらに小さく $c = 75^\circ$ 程度でやっと 50% になることが認められる。提案中の S i G M A 解析で採用しているクラックの分類のための基準では、せん断寄与率 X が 60% 以上ならばせん断 (Shear) クラック、 40% 以下ならば引張 (Tensile) クラック、 $40 \sim 60\%$ は混合型 (Combined) クラックとしている。この場合には、せん断クラックでは2つのベクトルのなす角 c が 80° 以上、引張クラックでは $c \leq 60^\circ$ 、ということになっていることが分かる。

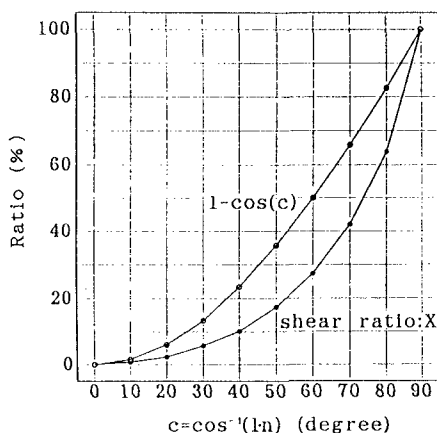


図-1 せん断寄与率とベクトル挟角の関係

2. 2 A R モデル法による初動の自動検出¹⁾

A E の発生件数は多く、1 回の実験で数百、数千というデータが得られる。特に最近の技術の進歩により計測チャンネル数も多くなり、データ数もさらに多くなってきた。一般的に A E 信号が変換子に到達したか否かは、図-2に示すように入力電圧がある設定した電圧に達したか否かによって判断している。この場合には、波長および振幅の大小によって真の到達時刻と計測された到達時刻との差は Δt_1 、 Δt_3 に示すように大きな差が生ずる。したがって、厳密な A E 発生位置を標定するためには波の初動を目で読みとるのが一番正確であるが、データの数が多いため自動読み取りをする必要が生じてくる。そこで、自己回帰モデルの

手法に基づいた初動検出プログラムを開発した。その有効性を検討するために、ノイズ+ sine関数の波形データについてARモデル法による初動の自動検出を試みた結果を表-1に示す。ここで、PIは初動到達時刻を、PSは初動振幅値を示す。この場合には、 $\Delta t = 1 \mu\text{sec}$ であるので、 $2 \mu\text{sec}$ の誤差で初動が検出されていることが分かる。

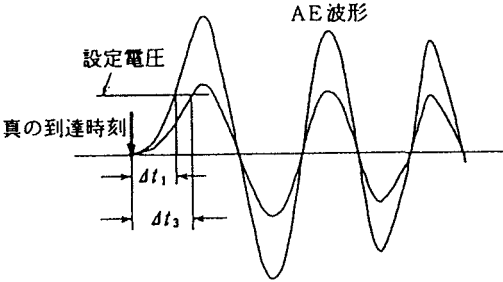


図-2 AE波形の立ち上がり

表-1 対応する波形データについて初動の自動検出を試みた結果

入力値	ARモデル(解析値)
k _{a.c} =100 PI=0.100E-03 PS=0.476E+01	k _{a.c} =98 PI=0.980E-04 PS=0.433E+01

2. 3 後処理解析

SiGMA解析法で誤差の大きいと見なされる事象の削除を行うため後処理解析法を開発した。この方法は、SiGMAで得られたクラックの諸量を用いて理論波形を求め、この波形にあらかじめSiGMA解析を行うものである。対象としたのは、図-3に示すような鉄筋コンクリート梁の曲げ試験の結果である。I、Ⅲ、Ⅳ段階におけるクラック同定の結果を図-4に示す。ここでは、SiGMA解析で考察した結果に基づいて、クラックの発生位置に引張型は矢印により、せん断型は×により分類して表示している。なお、混合型もせん断型と同じ表示を用いてベクトルの方向を表示している。このように、今回の後処理により誤差の多いと考えられた解析結果を削除することによって、鉄筋コンクリート梁の破壊過程について、詳細な考察を行うことができた。したがって、SiGMA解析が鉄筋コンクリート構造部材の破壊過程の解明に非常に有効な手法をもたらすものであることが確認できたと考えられる。

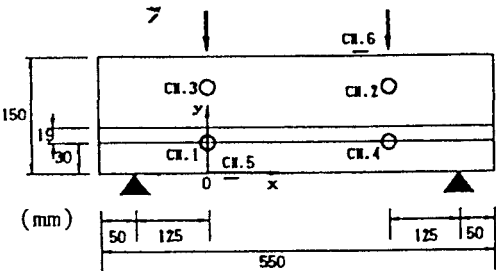


図-3 鉄筋コンクリート梁の曲げ試験の供試体図

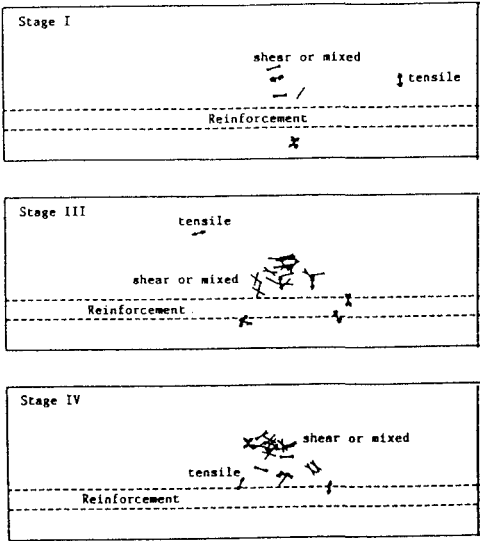


図-4 SiGMA解析によるクラックの発生位置

参考文献 1) 勝山邦久,「現場技術者のためのAE技術の応用」,アイピーシー, pp. 71-84, 1994