

CS 53

A E 波形解析によるコンクリートの混合モード破壊の観察

重石光弘 熊本大学地域共同研究センター
 大津政康 熊本大学工学部土木環境工学科

1. はじめに

ある原因によって弾性体内部に微小ひびわれが生じることにより、その箇所から弾性波(AE波)が発生、伝播する現象をアコースティック・エミッション(AE)といい、このAE波の発生形態は、発生源となった弾性体内部の破壊機構と密接な関係があって、AEに関する種々のパラメータを適切に収集して、理論的に解析することによって、弾性体の破壊機構を明らかにできる。特にAEの波形は、発生源である微小ひびわれ形成時の諸情報を含んでおり、著者らが開発したAE波形の逆解析手法'SIGMA'を用いれば、弾性体内部に生じた微小ひびわれの幾何学的諸量(位置、モード、方向)を定量的に知ることができる。

ここでは、コンクリート板が面内一軸圧縮荷重によって混合モード破壊を生じる過程において発生したAE波形に対し、板要素におけるAE波形の逆解析を行うために開発された'SIGMA-2D'を適用して、コンクリート供試体の混合モード破壊過程を観察した結果を報告する。

2. コンクリート板供試体の混合モード破壊実験の概要

図-1に示すように、中央部にスリットを有する方形板に対して面内一軸圧縮荷重を載荷していくと、ひびわれがスリットの先端から発生し、次第に進行して、混合モード破壊を生じる。

今回の実験では、方形板(100mm×100mm)には、普通コンクリート($w/c=50\%$, $s/a=45\%$, $air=8\%$, 最大粗骨材寸法 20mm)を用い、スリット(幅1mm, 長さ20mm)は、載荷方向と45度の角度を成すように設けた。

瞬時に供試体が破壊することを防ぐため、載荷速度を緩やか(250 N/min)にし、ひびわれがスリットの先端部から発生、進行していく際に発生するAE波を、供試体の両側辺に取り付けた4個のAEセンサー(共振周波数1MHz)によって検出し、AE波形をデジタルメモリ(分解能9bit, サンプル周期2MHz, データ長2048words)に記録した。

図-2にコンクリート供試体における試験時間と載荷荷重およびAEセンサー(ch.1)によって検出されたAEの発生数との関係を示す。荷重を載荷するに従ってAEの発生は指数的に増加し、微小ひびわれ(AE発生源)が供試体の内部に蓄積していく様子が伺える。また、AEの発生が著しくなるに従って、反力も著しく変動しており、微小ひびわれの形成によって内部エネルギーが解放されていることを示している。AEの発生が急増するあたりでは特にその傾向が顕著である。

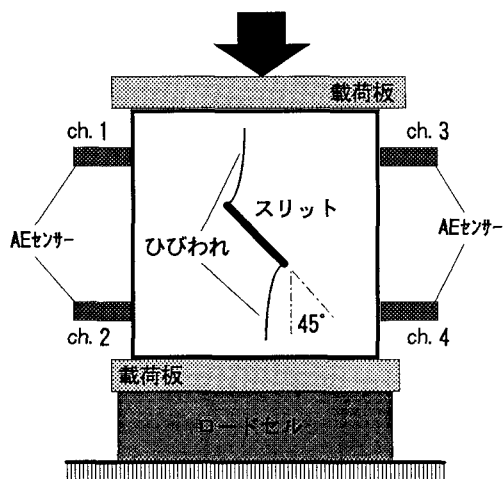


図-1 混合モード破壊実験

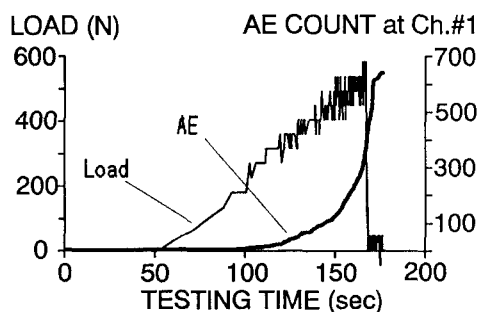


図-3 コンクリート供試体の荷重曲線とAE発生挙動

3. A E波形の逆解析とその結果および考察

まず各検出点におけるA E波初動部の相対到達時間差からA E発生源の位置を標定し、次にA E初動部の振幅値 A から、次式よりモーメントテンソル m_{pq} の面内(x_1-x_2)成分を求めた。

$$A = C Re \gamma_p \gamma_q m_{pq} / R \quad (1)$$

ここで、 C はA E波の伝播媒体常数、 R はA E発生源と検出点との距離、 γ はその方向ベクトルである。 Re は反射係数であり、A E波が供試体表面において検出されるための補正係数である。また、 m_{pq} の面外成分はポアソン比を ν とおけば、次式より得られる。

$$\begin{aligned} m_{13} &= m_{23} = m_{31} = m_{32} = 0 \\ m_{33} &= \nu(m_{11} + m_{22}) \end{aligned} \quad (2)$$

さらに、 m_{pq} の固有値 e_i は次式より、せん断成分 X 、引張偏差成分 Y 、引張等方成分 Z に分解することができる。

$$\begin{aligned} X + Y + Z &= e_1 / e_1 = 1 \\ -X - 0.5Y + Z &= e_2 / e_1 \\ -0.5Y + Z &= e_3 / e_1 \end{aligned} \quad (3)$$

A E発生源となった微小ひびわれの発生モードの分類基準としてせん断成分比 X が ≥ 0.75 であればせん断モード、 $\leq 25\%$ ならば引張モードであるとした。また、ひびわれ面の方向は分類されたひびわれモードに従って固有ベクトル e_i の方向より決定できる。

解析結果をA Eイベントの発生順に3段階に分けて図-4に示す。図中でせん断モードの微小ひびわれは、せん断方向および法線方向を指す $\times$ 印でその発生箇所を示し、引張モードの微小ひびわれは、引張方向を指す $\leftrightarrow$ 印をその発生箇所を示した。これらから、微小ひびわれが初期段階ではスリット近辺に集中して発生し、スリット先端部から進展する主破壊面(点線)を形成していく様子が観察できる。また、スリット先端には主破壊面の方向とほぼ一致したせん断モードの微小ひびわれが多数発生し、次第に主破壊ひびわれ面と直交する引張モードの微小ひびわれが発生するようになることが伺える結果となっている。

4. まとめ

板要素におけるA E波形逆解析手法'SIGMA-2D'をコンクリート板が面内一軸圧縮荷重による混合モード破壊の際に生じるA E波形に適用し、その破壊過程を観察した結果を報告した。その結果、主破壊の過程において、初期段階ではせん断モードの微小ひびわれが卓越して発生し、次第に引張モードの微小ひびわれが発生することが確認され、各々の微小ひびわれ面の方向は主破壊ひびわれ面の方向と良い一致が見られた。

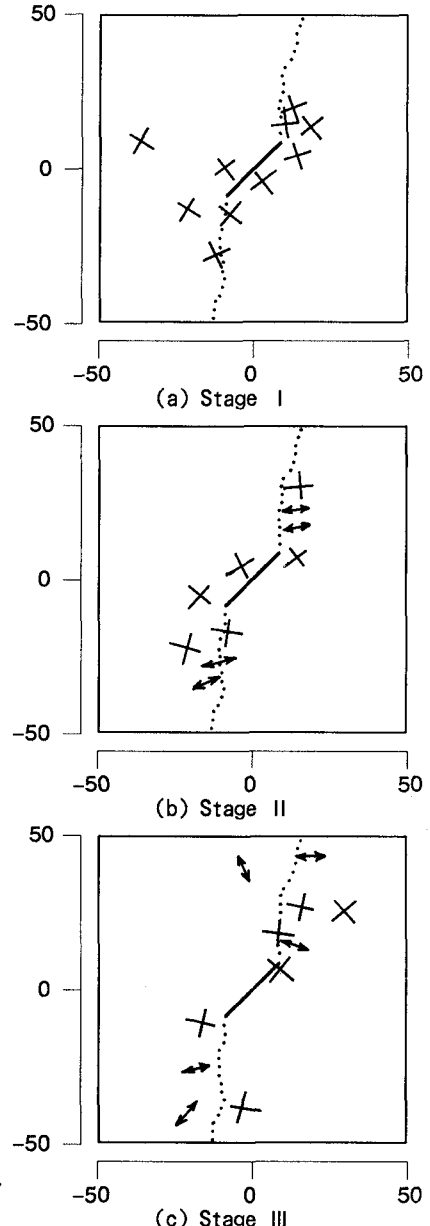


図-3 A E波形逆解析結果(単位:mm)