The Society of Materials Science, Japan

338 PMMA材の破壊に伴うAE機構の解明に関する研究

筑波大学 ○寺本倆郎
筑波大学 斉藤正克

1. はじめに

材料内部の組織あるいは構造的変化によってAEが放出される現象は従来より知られており，その結果AEは非破壊検査や材料評価の手段として積極的に用いられつつある．しかしAEは材料内部の変化に応じて異なった挙動を示すのが一般であり，このことがAEの定量的取扱を困難にしている．本論文では以上の観点に基づき実験の簡便さからPMMAを供試した実験を行ない，AE波を検出して周波数分析することによりその機構を明らかにし，ついで本供試材の靱性がどのような破壊力学的パラメータによって表わされるか確かめた．さらにこの靱性値の有効範囲内においてAE特性との相互の関連性を調査しAEによる材料の破壊基準の確立の可能性を探った．

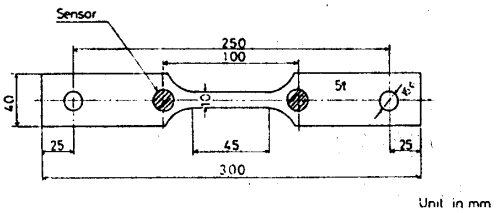

図1 L試験片形状

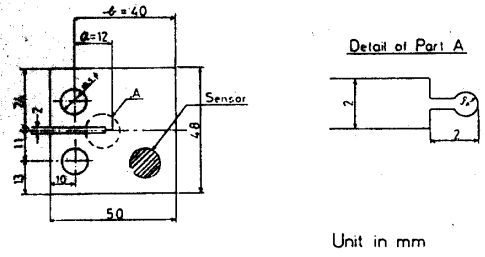

図2 CT試験片形状

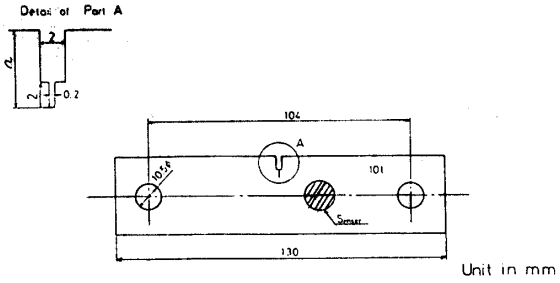

図3 SEN試験片形状

2. 実験

2.1 供試材

供試材は5㎜及び10㎜厚のPMMAで通常アクリルと呼ばれる高分子材料である．元来粘弾性材料であるが常温でほぼ弾性挙動を示す．機械的性質は歪速度により異なるがヤング率は約330kg/㎟，ポアソン比は約0.35である．

2.2 実験方法

材料の変形，特に塑性変形及び割れ発生によるAE特性の違いを調べるために3種類の試験片を製作した．前者はL試験片(図1)と呼び中央平行部を細くしたものであり，後者はCompact Tension (CT)試験片(図2)と片側切欠付(SEN)試験片(図3)である．試験片は全てピン荷重とし，各々図中の位置にN戸社製センサ(AE901S 共振周波数153KHz)をシリコングリスを塗布し圧着面積をなるべく均一に

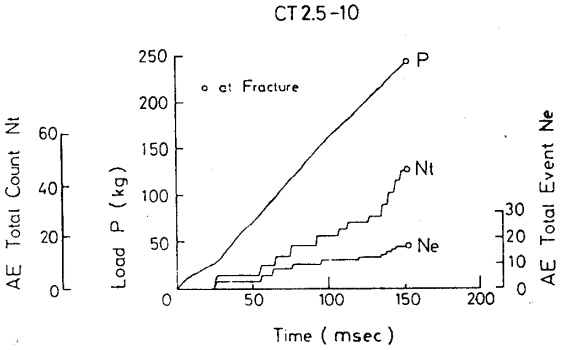

図4 P, Nt, Neの時間的変化

NII-Electronic Library Service

The Society of Materials Science, Japan

した後取り付けた．試験条件は全増幅率80dB，閾値1V，100kHz Highpass Filter に設定した．L試験片については準静的荷重を加え塑性変形を生ぜしめ，CT，SEN試験片については先端半径ρ(0.1～3.0mm)及び切欠長a(6～15mm)を変えて機械加工L PLASTECH 製高速引張試験機を用い cross head speed を14mm/s に固定して破断した．実験に当って荷重，AEカウント総数，AEイベント総数の時間変化並びにAE原波形が記録された．図4にCT試験の結果の一例を示す．

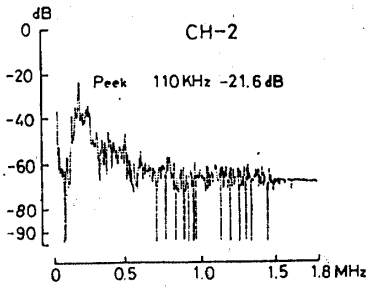

図5 塑性変形による周波数分布

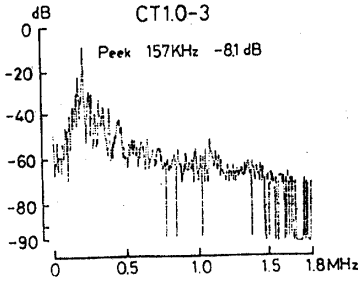

図6 割れによる周波数分布

3. 周波数解析

L試験片において塑性変形の発生を中央部に貼付した歪ゲージにより確認した後AE信号を捉え高速フーリ変換した結果を図5に示す．この図より塑性変形によるAEは110kHz近傍にピークを有し1.5MHz以上の高周波成分まで含んでいる．このピークはセンサの共振周波数よりも小さく，従って塑性変形のAEの特徴と考えられる．他方CT試験片の破壊即ち割れの発生，進展に伴うAEの周波数分布を図6に示す．前者と比べて顕著に異なる点は1.5MHz以上の高周波成分が極めて少なくピーク位置が150kHz近傍にあり塑性変形のAEと明確に区別される点である．このことはCT試験における歪速度が大きいため微細な割れが先行する結果であろう．またピーク位置はセンサの共振周波数に近く必ずしも固有の現象とは言えないようである．

4. 破壊力学的考察

4.1 破壊基準

PMMAは前述した如く準弾性材料であるが図4に示す様に荷重は時間に対しほぼ線型に増大しており，従ってCT，SEN試験片に充分線型破壊力学が適用されると考えられる．CT試験片は切欠長を一定にし先端半径ρによる違いを調べたものであるがこれに対し近似的に応力拡大係数Kを用い破断時の荷重からその時のK，即ちK_cをρに対して表したのが図7である．K_cはρ≲0.5mmの範囲内でほぼ一定(≈5.5kg/mm$^{3/2}$)であるがρ>0.5mmではK_cは$\rho^{1/2}$に比例していることが分る．即ち先端半径の小さい切欠はき裂とみなしてもよく，線型破壊力学の有効適用範囲内にあると言える．次に破断時の切欠先端の最大垂直応力σ_{max}^cと

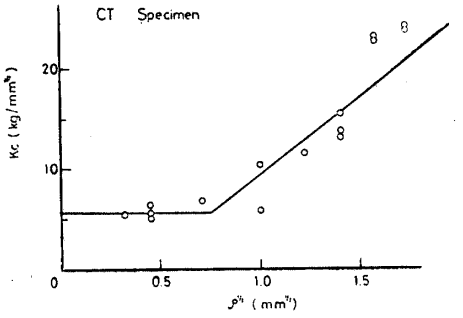

図7 K_c 対 $\rho^{1/2}$

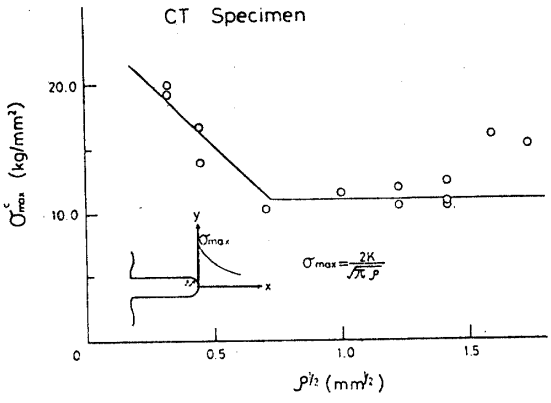

図8 σ_{max}^c 対 $\rho^{1/2}$

NII-Electronic Library Service

The Society of Materials Science, Japan

$\rho^{1/2}$の関係を図8に示す．σ_{max}^{c}は図中に与えられる様にKとρの関数であり，$\rho > 0.5$mmの範囲でほぼ一定（≈10.5 kg/mm²）となる．先端半径の小さい試験片についてはKcによる破壊基準，大きい試験片についてはσ_{max}^{c}による破壊基準が成り立つと考えてもよさそうである．また図9はSEN試験における$K_c^{(1)}$と切欠長aの関係を示したものであるがaに依らず一定となり，破壊靭性KcをPMMAの固有の材料特性と定義づけることが可能である．

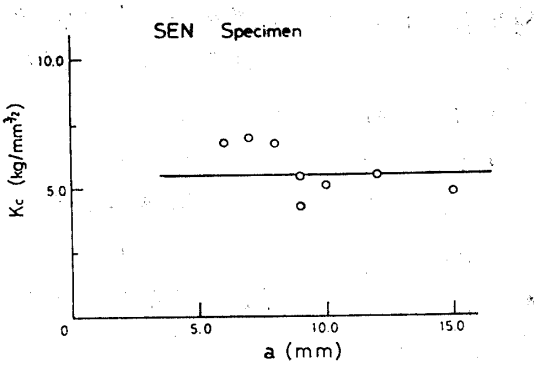

図9 Kc 対 a

4．2 AEカウント総数

AEの発生は図4で分る様に荷重が作用してから少し後に起こっている．これは切欠先端近傍での塑性域の形成及び高歪域における微細な割れの先行に起因すると考えられる．その後AEは荷重と共に増大し破断時の荷重に対応しているがこの点でのAEカウント総数N_t^cと$\rho^{1/2}$の関係を図10に示す．この図から分る様にN_t^cがρに対してKcと同様の依存性を示すことからKとAE現象の間に何らかの対応関係がありそうである．そこで次に荷重が作用してから破断するまでのNtとKの関係を調べたのが図11である．切欠先端が鋭いとみなせるρ≲0.5mmの試験片ではNtがKに比例することが分る．一般に種々の材料においてこの関係は$N_t \propto K^n$とされており，[22,23] 特に鉄鋼では塑性域の大きさと対応づけてn≈2〜4の値となるが，PMMAではn≈1であることが判明した．即ち$N_t = \alpha K + \beta$の関係式で表されるものであり，α，βは増幅率，閾値，試験片形状，センサ位置等に依存する定数である．今後Ntを材料評価の手段として有力なパラメータ，つまり破壊基準として実用に供するためにはAE計測精度の向上と共にα，βの特性を明らかにした上で定量化を図ることが必要になると思われる．

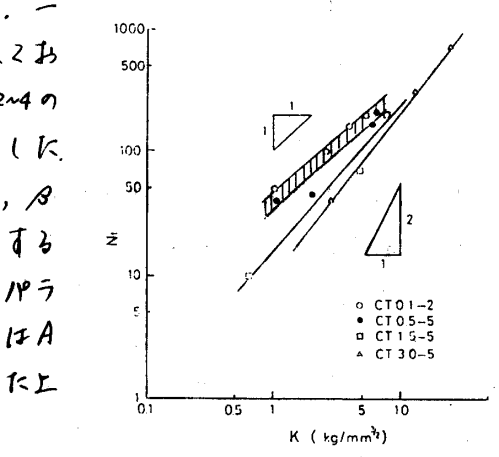

図10 N_t^c 対 $\rho^{1/2}$

図11 NtとKの関係

5．結論

(1) 塑性変形によるAEと割れによるAEは周波数特性が異なり区別が可能である．

(2) PMMAの破壊靭性は応力拡大係数Kを用いて表され，AEカウント総数Ntも破断時には一定となる．

(3) KとNtの間には一次の関係式が成り立つ．

参考文献 省略

NII-Electronic Library Service