

徳島大学工学部 正員・藤井 靖司
岡山県庁 正員 井和 克彦
徳島大学大学院 学生員 浅野 彰洋

まえがき ぜい性材料の圧縮荷重下での単一切欠きからのき裂進展解析を線形破壊力学により試みているが、^{2),3)} 目的の材料への線形破壊力学の適用性を検討するためJ値試験を行った。そして、線形破壊力学の材料定数として用いられるモードIIの破壊靱性値 K_{Ic} をより確かな値とするため三方向ひずみゲージからも求めた。前回の報告に引き続き、単一切欠きを有する長方形板の圧縮実験を行い、また、荷重軸(鉛直軸)と切欠きのなす角度 β が 45° 以上になったときに見られる切欠き面からのき裂発生に対する解析を行ったのでこれらについて報告する。

J値試験 岩質材料は内部に種々の欠陥を含んでいるため、ぜい性材料として破壊力学を適用することは可能であると考えられる。しかし、き裂先端部の小規模降伏を仮定する線形破壊力学の適用性については実験的に確認が必要である。試験方法は、 K_{Ic} を求めるための切欠きを有する梁の三点曲げ試験を準用し、破壊に至るまでのき裂長さ Δa と、そのときの荷重-たわみ曲線より求められる仕事量 A から(1)式によりJ値を求める。

$$J = 2 \cdot A / b, \quad b = L - a \quad (1)$$

種々のJ値と Δa の関係を図示すると図1のようになる。そして、これらの点を直線①と曲線②で近似し、その交点がJ値の限界値 J_{Ic} で、 $J_{Ic} = 0.0146 \text{ kg/cm}$ を得る。ここで、小規模降伏が満足されていれば、 J_{Ic} 値は線形破壊力学における K_{Ic} 値と(2)式のように一対一に対応する。

$$J_{Ic} = (1 - \nu^2) \cdot K_{Ic}^2 / E \quad (2)$$

$K_{Ic} = 57.0 \text{ kg/cm}^{3/2}$ として計算すると、 $J_{Ic} = 0.0137 \text{ kg/cm}$ を得る。

(1)式からの J_{Ic} 値と(2)式から得られたものを比較すると、その差は約6%であり、線形破壊力学の適用性が確認できた。

K_{Ic} 値 変形モードIに対する破壊靱性値 K_{Ic} を求める試験法はASTM規格を準用し、その規定の計算法によっているので問題はないが、モードIIに対する K_{Ic} 値については規格がないので本研究では独自

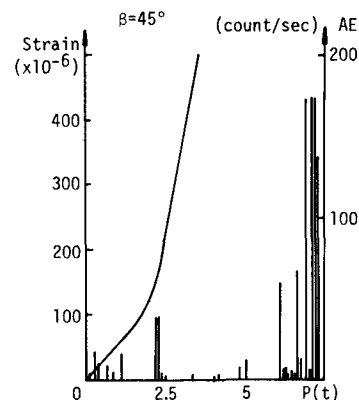
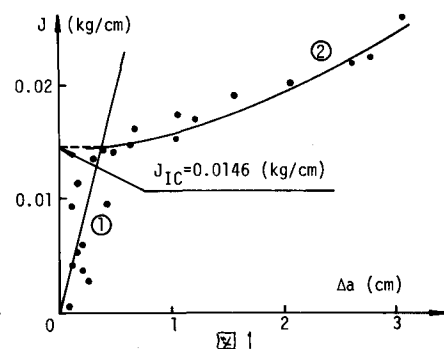


図2 荷重-ひずみ・AE

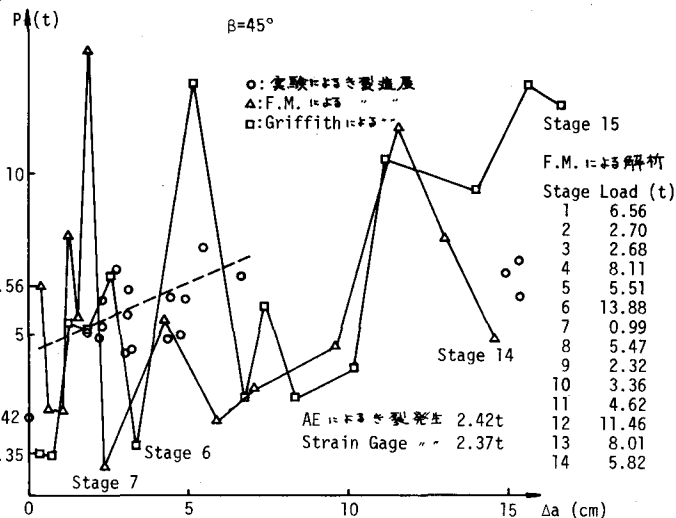


図3 $\beta=45^\circ$ 実験、解析によるき裂進展量

の2面せん断試験を行い、また、その計算式を導いているので他の方法で K_{IIC} を求め比較することを行った。それには切欠き先端での応力状態を求め、切欠き先端の応力成分と K 値を関係づける基本式に代入して K_{IIC} 値を計算する。この式がき裂先端の応力分布を正確に示すのは、切欠き長さ a 、その先端からの距離 r とすると $r/a < 0.2$ の範囲であるとされている。モードII破壊靱性試験で $a=2.5\text{cm}$ としているので、 $r < 5\text{mm}$ の位置に三方向ひずみゲージの中心がくるようにする。前者によると $K_{IIC}=224.7\text{kg/cm}^{3/2}$ 、後者のひずみゲージによると $K_{IIC}=223.6\text{kg/cm}^{3/2}$ を得た。両者はよく一致しているため従来からの方法による値が妥当であることが確認された。

長方形板のき裂進展実験 荷重軸に対して傾いた3cmの単一切欠きを中央に設けた $18 \times 12 \times$ 厚さ4cmの長方形板に圧縮荷重を作用させ、モードIとIIの混合モード状態におけるき裂進展実験を行った。実験方法等については前回報³⁾告したのでそちらを参照されたい。今回は切欠き先端にゲージ長6mm、幅1mmのひずみゲージを貼り、それと、アコースティックエミッション(AE)でき裂の発生・進展をとらえた。図2に $\beta=45^\circ$ の荷重-ひずみ、AE関係の一例を示す。これより2t余りで突発的AEが発生し、同時にひずみ量も急増しているが、これらは切欠きからの最初のき裂発生を示している。そして、5tあたりまでほとんどAEはみられずき裂は停留している。5~7t付近での連続的AEは安定的き裂進展に対応し、その後、最終的な不安定破壊を示すAEの急増がみられる。このことは図3に示す荷重-き裂長さ関係をもみても確認できる。図中の○印はき裂発生がAE等で認められた後、所要の荷重で載荷を止め、赤インクに20時間以上浸してき裂長さを求めたものである。これらは破壊線で示す直線関係にあり、これとAEまたはひずみゲージからのき裂発生荷重点より、き裂の発生、停留、安定的き裂の進展、そして、同じ荷重値6~7tでの非常に大きなき裂長さ、すなわち不安定破壊がみられる。き裂発生後、安定的破壊が進行する荷重4.6t以下で載荷を止めるときき裂進展は認められない。 $\beta=30^\circ$ では、これらの傾向は顕著になり、 $\beta=60^\circ$ では、き裂発生荷重、安定進展までのき裂停留間荷重増分が小さく、そして、荷重-き裂長さの関係は β が大きくなるほど同じ荷重増分に対して大きなき裂進展量を示す。

き裂進展解析 $\beta=45^\circ$ のき裂進展実験では約半数が、 $\beta=60^\circ$ では全てが、切欠き面からのき裂発生を起す。これらの場合には、破壊力学によりき裂進展が解析できたりで、切欠き面からの上下各々最初のき裂発生はGriffithの示力による規準により解析し、き裂が出来るとその先端からは破壊力学の規準により解析を進めていくという手法をとった。ここでは、 $\beta=45^\circ$ については、切欠き面からのGriffithによる解析と、切欠き先端からのき裂発生に対する破壊力学(F.M.)のみによる解析と両方を行い、 $\beta=60^\circ$ に対しては、Griffithによる解析のみを行った。これらの解析条件、手法は以前に発表している^{2),3)}のでそれを参照されたい。解析結果の $\beta=45^\circ$ の両手法によるものを図3に、進展経路は図4に示す。これらの解析においては、き裂進展量を、解析のために試験体を三角形要素に分割した要素一つ分とし、き裂進展条件を満足する荷重値により要素一つ分き裂が最大周力試験を満たす方向に進んでよるとする。これを

1 Stage といふ、そのStage番号と荷重値も図中に示す。これによっても、き裂の発生、停留、安定・不安定進展がはっきりとあらわれている。また、き裂経路も大略実験で得たものと一致している。詳細は当日の発表にゆずる。

参考文献 1) 藤井他、"破壊力学による岩石材料の..." 土木学会年次32回、1977。 2) 藤井他、"岩石材料への破壊力学の応用について" 土木学会年次33回、1978。 3) 藤井他、"破壊力学によるべい性材料のき裂進展解析" 土木学会年次34回、1979。

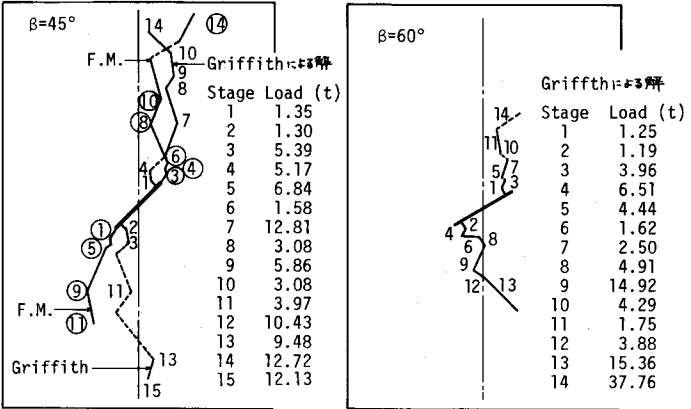


図4 解析によるき裂進展