

徳島大学大学院 学生員 ○浅野 彰 洋
徳島大学工学部 正員 藤井 清 司

よえがき 岩質材料への線形破壊力学の適用に関する研究を進めているが、今回は、中央に単一切欠きを有する円板の圧裂試験より、混合モード下での破壊規準に対する検討を行い、さらに、2つの平行する切欠きを有する長方形板の圧縮下でのき裂進展実験により、切欠き相互の影響をとらえることを試みた。また、それらの円板、長方形板について、き裂進展経路およびその時の荷重値を解析し、実験結果と比較することにより、解析法の適用性の検討を行、たので報告する。

円板 (き裂進展実験) 混合モード下でのき裂の挙動をとらえることを目的として、中央に3cmの切欠きを有する半径7.5cm、厚さ4cmの円板試験体を用い圧裂試験を行う。この場合、切欠きが荷重軸となす角 β を $0^\circ, 28^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ に変化させ、そのき裂発生時の応力拡大係数(K値)をErdoganとSihらによる形状関数 $F(\beta)$ を用い、次式で求める。

$$K = F(\beta) \frac{P}{R\sqrt{t}} \sqrt{\frac{a}{\pi}} \tag{1}$$

ここで、Pは破壊荷重、R、t、aはそれぞれ円板半径、板厚、切欠き長さの半分である。図1は、縦軸を K_I 、横軸を K_{II} として実験より得られる K_I 、 K_{II} 値を示したものである。原点を中心に放射状に延びた直線は、それぞれ $\beta=0^\circ, 28^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の時の任意の荷重値における K_I 、 K_{II} 値の関係を示すものであり、原点に近づくほど荷重は小さくなる。また、図中の曲線は $\beta=0^\circ$ の場合において $K_I=60 \text{ kgf/cm}^{3/2}$ 、 $K_{II}=0 \text{ kgf/cm}^{3/2}$ として、各 β に対応する K_I 、 K_{II} 値を(1)式より算定し示したもので、得られる実験結果より、この曲線の補正を行えば、混合モード下における破壊規準に相当する曲線が得られると考えられる。また、図1には試験体表面の切欠き先端近傍に接着した三方向抗拉線ひずみゲージから求めた K_I 、 K_{II} 値も記入してあるが、図からもわかるように、三方向抗拉線ひずみゲージがK値の算定に有効であることが示されている。

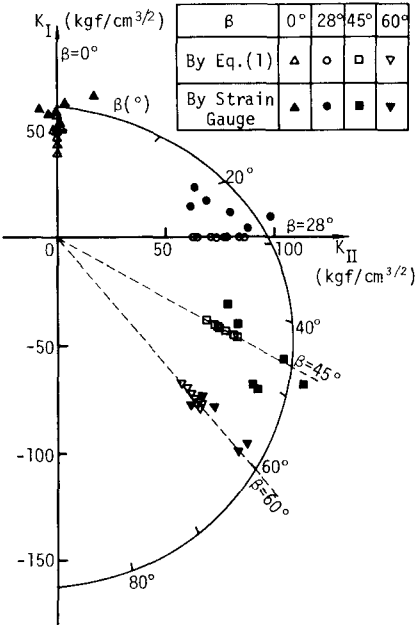


図1 円板の切欠き角度の変化による破壊時の K_I と K_{II} の関係

円板 (き裂進展解析) 実験と同寸法の円板をモデル化し、 $\beta=0^\circ, 28^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ のそれぞれについて、き裂進展解析を行う。なお、前回までは、き裂進展の方向角の決定に際し、最大周応力説を用いてきたが、今回、新たにき裂先端近傍での最大主応力からき裂進展方向角を決定する手法を試み比較を行ったところ、後者の方がより実際のき裂の挙動に近い値を与えるので、ここでは、後者の手法を用いた解析結果を示す。その他、解析法の詳細は前回の報告にゆずる。図2は、 $\beta=0^\circ$ と 28° の結果を例として示すもので、進展経路、荷重値ともに実験結果に良く一致し、不安定破壊を起こすこともとらえられてお

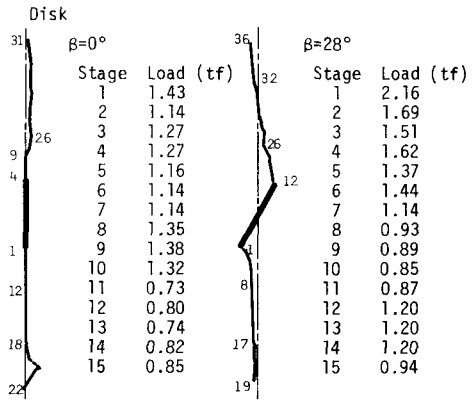


図2 円板の解析によるき裂進展状況

り、さらにErdoganとSihらによると $\beta=0^\circ$ では変形モードⅠのみ、 $\beta=28^\circ$ では変形モードⅡのみによる破壊となるが、本解析では、 K_I 、 K_{II} の限界値をそれぞれ K_{Ic} 、 K_{IIc} とすると $\beta=0^\circ$ の場合は、 $K_I=K_{Ic}$ ($K_{Ic}=4.91\text{ kgf/cm}^{3/2}$)で、 $\beta=28^\circ$ の場合は、 $K_{II}=K_{IIc}$ ($K_{IIc}=7.05\text{ kgf/cm}^{3/2}$)で破壊しており、非常に良くシミュレートできていると考えられる。また、 $\beta=45^\circ$ 、 60° の場合には、実験より、それぞれの切欠き先端より2個のき裂が発生し、さらに、そのうち1個は切欠き面上から発生することがわかっており、今後、それらの点に対する考慮が解析手法上必要となる。また、混合モード下における破壊規準を導入することにより、さらに精度の良い解が得られることが期待できる。

長方形板 (き裂進展実験) 接近する切欠き相互の影響を観察することを目的として、平行する2つの切欠き (長さ3cm、 $\beta=45^\circ$)を有する縦26cm、横20cm、板厚4cmの長方形板の圧縮試験を切欠き間隔を変化させて行う。前回までに単一切欠きを有する長方形板の圧縮下におけるき裂の挙動については報告しているが、2つの切欠きを有する場合、それぞれの切欠き先端から発生するき裂の挙動が単一切欠きの場合と同様な形態を示せば、切欠き相互間の影響は無いものと判断する。図3には、縦方向に切欠きが接近する場合の実験結果を、数回の実験より得られたものを重ねて示しており、これから、縦方向に切欠きが接近する場合には、その切欠き中心間隔(D_v)が、5cm付近で影響が表われ始めるものと思われる。これは切欠き先端近傍に接着する一方向抵抗線ひずみゲージから得られる荷重-ひずみ曲線からも、その傾向が示されている。なお、実験時に測定を行うアコースティックエミッション(AE)から得られる初期微小き裂発生荷重を P_1 として、図3中に記してある。また、横方向に切欠きが接近する場合には、縦方向はどの様な変化は表われていないが、一方向抵抗線ひずみゲージの反応とも合わせて判断すると、現在までの研究では、その間隔が、3cm前後において影響が表われ始めるものと思われる。

長方形板 (き裂進展解析) 先に述べた円板の場合と同様の解析手法を用いて、実験と同寸法の平行する2つの切欠きを有する長方形板を、実験において、き裂の挙動に変化のみみられる切欠き間隔 (縦方向間隔4cm、5cm、6cm、横方向間隔3cm、4cm) についてき裂進展解析を行う。図4に縦方向に切欠きが接近する場合の解析結果を例として示す。この図から、上下両切欠き間に進展するき裂の挙動の、切欠き間隔による違いが良く表わされており実験結果とよく対応していることがわかる。

なお、本解析によれば、各々の切欠き影響を及ぼし始めるのは、縦方向に接近する場合は、6cmと5cmの間であり、横方向に接近する場合には、3cm前後と考えられ、実験結果とよく対応している。また、解析から得られる初期き裂発生荷重 P_1 を図4中に示しているが、実験時に測定を行うAEより得られるその値に非常に近い値を示し、安定破壊を生じる状態もとらえていることから、本解析法は、切欠きが複数の場合にも適用が可能であると言える。ただ、図3において $D_v=5\text{cm}$ 、 6cm に見られるように、荷重が増大してゆくに従ってき裂の分岐が見られ、今後、解析手法上、考慮に入れる必要があると思われる。また、円板の場合と同様に混合モード下での破壊規準を導入することにより、さらに精度の良い解が得られることが期待できる。なお、詳細は、当日の発表にゆずる。

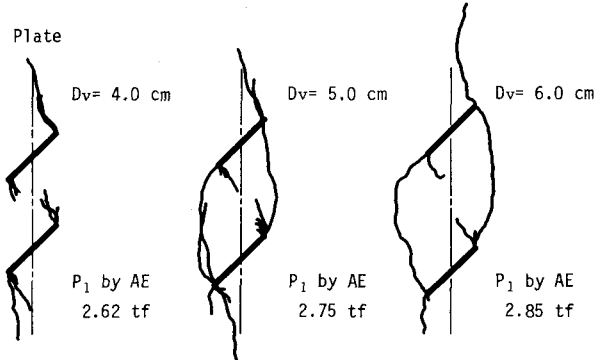


図3 長方形板の実験によるき裂進展状況

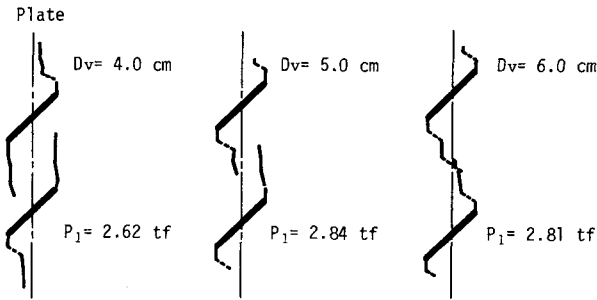


図4 長方形板の解析によるき裂進展状況