

西 官 市 正 員 ○藤 井 明
徳島大学工学部 正 員 藤 井 清 司
徳島大学大学院 学生員 鳥 生 寿

1. まえがき

多数の微小欠陥を有する岩質材料では、荷重が作用して壊れる場合、その欠陥部からのき裂の発生、進展によって特徴づけられる、いわゆる脆性破壊を起こす。ここで、この破壊現象を的確にとらえるために、従来の応力に加えて、応力拡大係数 (K 値) を力学的環境パラメータとする線形破壊力学を適用する。そこでこの応力拡大係数の限界値である破壊靱性値 (K_{IC} 値) をもってその材料の破壊基準とするため、これを知る目的で各種の破壊靱性試験、計算を行っている。今回、この内、モード I の破壊靱性試験に用いる試験片形状等について研究を行ったので報告する。

2. 試験片寸法および試験方法

岩質材料としてセメントモルタルを用いて、Fig.1 に示すような円板と梁の試験片を作製する。円板は中央に切欠きを有しており、直径 $2R=15\text{cm}$, 10cm の 2 種類について、さらに、切欠き長さ $2a$ と直径 $2R$ の比が $0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ となる 5 種類の合計 10 種類について圧裂試験を行う。また、梁は高さの $1/2$ の長さの切欠きを中央に有し、スパン長 $S=40\text{cm}, 35\text{cm}, 30\text{cm}, 25\text{cm}, 20\text{cm}$ に対して他のすべての寸法比が相似となる 5 種類について、三点曲げ試験と四点曲げ試験を行う。ここで、円板圧裂試験で切欠きの方向が载荷軸方向と一致する場合、曲げ試験と同様のモード I の変形様式で破壊が起こるので、それぞれの試験からは、同じモード I の破壊靱性値 (K_{IC} 値) が求められる。なお、この破壊靱性値は試験片が破壊した時点の荷重に対する応力拡大係数である。

3. 試験結果

円板圧裂試験の結果を Fig.2 と Fig.3 に示す。 $2R=15\text{cm}$ の場合、切欠き長さの小さい範囲でほぼ一定の靱性値を得るが、切欠き長さが大きくなると、靱性値がやや大きくなる。これは、载荷点側に塑性域が発生しその影響を受けるためと考えられる。これに対して、 $2R=10\text{cm}$ の場合は、切欠き長さが大きくなるにつれて靱性値はやや増加する傾向がある。また、 $2R=15\text{cm}$ に比べて全体的に低めの靱性値となっている。

次に、梁の曲げ試験の結果を Fig.4 と Fig.5 に示す。三点曲げ試験については、試験片寸法の大小にかかわらず、靱性値は一定している。同様に、四点曲げ試験でもこれといった傾向は認められない。したがって、

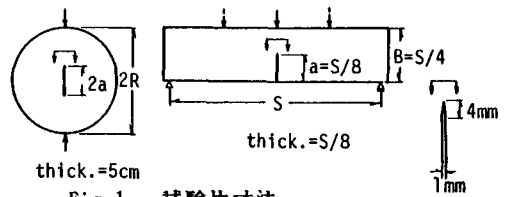


Fig.1 試験片寸法

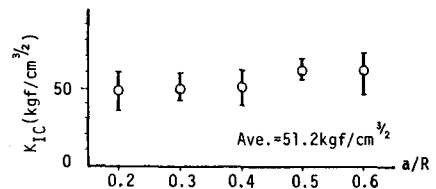


Fig.2 円板圧裂試験 ($2R=15\text{cm}$)

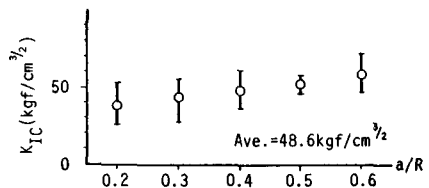


Fig.3 円板圧裂試験 ($2R=10\text{cm}$)

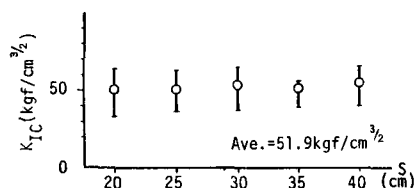


Fig.4 三点曲げ試験

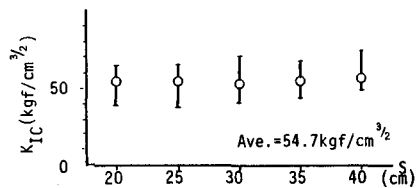


Fig.5 四点曲げ試験

このような曲げ試験を行えば、ほぼ一定した靱性値が得られると考えられる。しかし、三点曲げと四点曲げではいくぶん値が異なるので、その原因が両試験の載荷点の位置の違いにあるのではないかと考え、検証のため有限要素法による弾塑性解析を行った結果、切欠き先端以外の部分からは塑性域は発生せず、したがってこの影響は考えられない。これに対して、切欠き先端から発生する塑性域の形状と大きさが、三点曲げと四点曲げで異なっており、両者の応力分布状態が少し違うようである。（解析に用いた物性値をTable.1に、切欠き先端の塑性域の様子をFig.6とFig.7に示す。

4. 有限要素法を用いた解析値

破壊靱性試験によって得られる靱性値を裏づけるために、それぞれの試験片に対して有限要素法を用いて解析を行う。き裂の進展によって解放されるエネルギーを考えることにより、応力拡大係数と同じ意味を持つJ積分（J値）を利用する。J積分はき裂先端近傍で小規模降伏の状態を満足していれば、応力拡大係数と一対一の対応をしており、したがって、J積分より靱性値 K_{IC} を求めることができる。そこでJ積分を径路積分法によって計算する。

解析結果をFig.8～Fig.11に示す。円板、梁のいずれについても、試験結果にみられるのと同様な傾向を示しているが、全体的に解析値の方がやや低い靱性値となっている。

5. 結論

(1) 円板圧裂試験に用いる試験片は、 $2R=15\text{cm}$ 程度の大きさがあれば、切欠き長さの小さい範囲で、寸法効果を受けないので、破壊靱性試験に使用できる。

(2) 曲げ試験では、試験片の寸法効果による靱性値の変化はないものの、三点曲げ、四点曲げという試験方法の違いによって、いくぶんか差を生じる。

(3) 径路積分法による解析では、梁モデルの方が、容易に靱性値が得られるのに対して、円板モデルでは要素分割、あるいは積分径路のとり方が難しいが、数径路の値を平均することでこれはほぼ解消されると考える。

(4) 以上より、脆性材料の強度評価の手段として、破壊靱性値は容易に得られるパラメータといえる。

参考文献

- *）吉永ら；“岩質材料の破壊靱性試験に関する2，3の考察”第39回年次学術講演概要集Ⅲ，1984。
- **）藤井ら；“切欠き（欠陥）からのき裂進展解析について（続報）”第39回年次学術講演概要集Ⅲ，1984。

Table 1 セメントモルタルの物性値

σ_c	σ_t	E	ν	c	ϕ	H [*]
kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²	°	
268.0	25.8	2.09×10^4	0.166	68.0	36.0	0.00

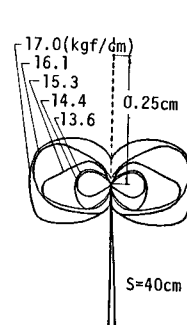


Fig. 6 切欠き先端の塑性域（三点曲げ試験）

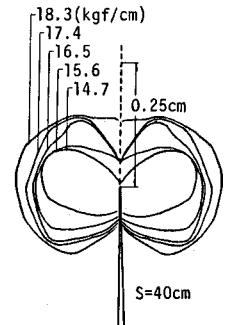


Fig. 7 切欠き先端の塑性域（四点曲げ試験）

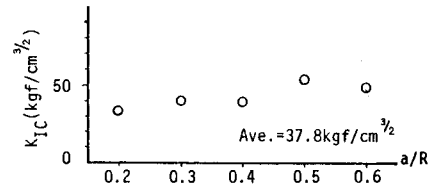


Fig. 8 円板モデル（ $2R=15\text{cm}$ ）

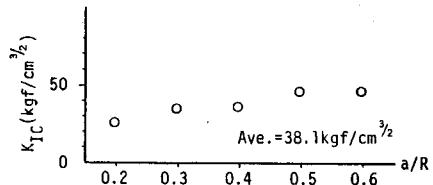


Fig. 9 円板モデル（ $2R=10\text{cm}$ ）

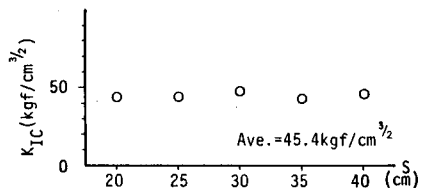


Fig. 10 三点曲げ梁モデル

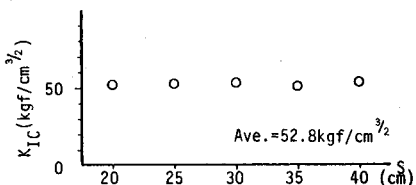


Fig. 11 四点曲げ梁モデル