

徳島大学大学院 学生員 ○吉永 真祐
徳島大学工学部 正 員 藤井 清司
徳 島 県 正 員 後藤 喜陸

まえがき 自由境界に垂直な圧縮荷重が作用する時、内部にき裂が存在すれば、き裂先端には、高い引張応力が発生し、材料は脆性的な破壊を起こす。比較的均質な、岩盤MATRIX部分においても、多くの微小欠陥を有し、(1)き裂の存在のため、供試体寸法により、公称強度が変化する。(2)き裂の進展、集積によりある荷重以上の繰返して破壊が起こる。線形破壊力学では、これらの欠陥を有する材料を対象として、従来の応力に加えて、応力拡大係数(K値)を力学的環境のパラメータ

として、材料の持つ強度を知ろうとするものである。すなわち、(1)の、小さなき裂では高い公称応力の下で破壊し、大きなき裂では、低い公称応力で破壊するという現象を、き裂長さの絶対寸法を含むK値が、ある等しい限界値(K_{IC} 値:破壊靱性値)に達すると破壊が起こるという事で表現される。また(2)は、変動する公称応力に伴う、K値変動が、き裂成長により増大する事で表現できる。一般的な変形状態でのKc値を求め混合モード破壊靱性試験としてFig.1に示すような圧型試験を採用し、2,3 考察したので報告する。

靱性値のき裂長さによる影響 線形破壊力学では、き裂長さにより靱性値が変化しては、材料の持つ強度と成り得ない。そこでモルタルを用いてFig.1に示す円板で $\beta = 0^\circ$ とし、き裂長さ2aを種々変化させて載荷試験を行い、き裂長さ2aの変化に伴う K_{IC} 値の変化について調べる。この円板圧裂試験による K_{IC} 値はTable 1に示すようにASTM (Designation:E399-74)規格の三点曲げ試験による K_{IC} 値とはほぼ同じ値が得られるので他の混合モード状態の靱性値も妥当なものと考えられる。Fig.2に示すとおり、き裂長さ2aが6.0 cm以下は、多少のばらつきはあるが平均値はほぼ一定であり、線形破壊力学の条件を満たしている。しかし、2a=7.5 cm以上になると靱性値が少し大きく出ている。これは、き裂先端部での塑性緩和により、き裂進展に対して有効な抵抗を示し材料の靱性を高めているためであろう。これを調べるために有限要素法で弾塑性解析を行い、塑性域の広がりを見る事にする。用いたモルタルの物性値は、三軸圧縮試験によりTable 2に与え、Mohr-Coulombの破壊規準と

し、解析方法は各増分段階におけるIteration 1回目のみ全体剛性Matrixを変える接線剛性法とした。Fig.3に各荷重増分段階における塑性域の広がりを示す。2a=3.0,4.5,6.0 cmの時は

K_{IC} (kgf/cm^{3/2})

	三点曲げ試験	円板圧裂試験
Plaster Cement	11.47	11.03
Cement Mortar	52.98	49.43

Table 1

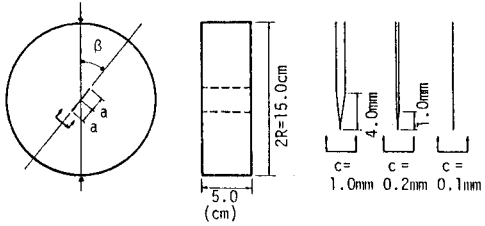


Fig.1

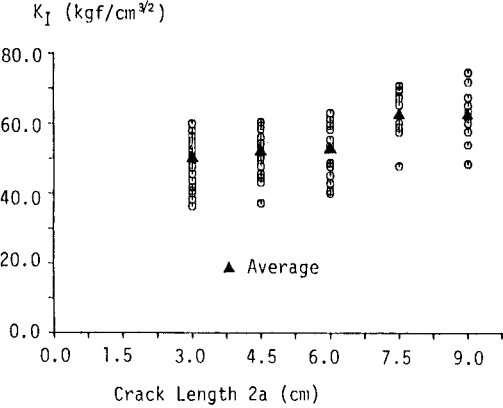


Fig.2

	σ_c (kgf/cm ²)	σ_t (kgf/cm ²)	E (kgf/cm ²)	ν	C (kgf/cm ²)	ϕ ($^\circ$)	K^* (kgf/cm ²)
Plaster Cement	68.3	4.6	3.06×10^4	0.21	22.0	25.0	0.0
Cement Mortar	318.3	28.1	2.09×10^4	0.18	87.0	35.0	0.0

Table 2

塑性域は、現れないが、 $2a=7.5, 9.0\text{ cm}$ では、破壊荷重 (P_f) で塑性域が現れる。これらの計算結果は、Fig. 2 に示す実験結果とよく一致している。また、Fig. 4 は $2a=3.0\text{ cm}$ の円板のき裂先端からの距離 r を横軸に、円板中央線上の σ_y を縦軸に採ったものである。この図から明らかなように荷重が大きくなるにつれて、き裂先端付近の応力分布が荷重点の塑性域の影響を受けているが、 P_f 以下の荷重では、ほとんど影響を受けていない。

靱性値のき裂幅による影響 Fig. 1 に示す供試体で β を種々変化させて荷重し、破壊荷重 P_f を得るこの P_f を用いて理論解から K 値すなわち K_c 値を求め、 $K_I - K_{II}$ 平面にプロットし、それらを結び曲線を円と近似して混合モード破壊規準を得る (Fig. 5) き裂幅 c がこれ以上薄くなったらどうなるかについて石膏セメントを用いて $c=1.0, 0.2, 0.1\text{ mm}$ について混合モード破壊靱性試験を行う。石膏セメント $c=1.0\text{ mm}$ の試験より得られた破壊規準は、Fig. 5 に示す内側の円である。またき裂幅 $c=1.0, 0.2, 0.1\text{ mm}$ による試験結果は Fig. 6 に示す。 $c=0.2\text{ mm}$ の結果は $c=1.0\text{ mm}$ の場合とほとんど同じであるが、 $c=0.1\text{ mm}$ の場合は、 $\beta=60^\circ$ の時、き裂面が接触を起こし、靱性値が大きく出てしまったものと思われる。そこでこれを確

認するため有限要素法を用いて弾性計算を行う。き裂中央部の荷重方向の相対変位は $\beta=45^\circ$ 、 $P_f=500\text{ kg}$ の場合 0.134 mm 、 $\beta=60^\circ$ 、 $P_f=450\text{ kg}$ の場合 0.155 mm となる。実験でのき裂幅 $c=0.1\text{ mm}$ の場合のき裂中央部の荷重方向間隔は $\beta=45^\circ$ の場合、 0.141 mm 、 $\beta=60^\circ$ の場合、 0.155 mm であるので、 $\beta=60^\circ$ の時ちょうど、き裂面が接触する事が確認できた。

結び 節理の発達した岩盤では Joint の挙動が支配的であろうが比較的均質な岩石実質部では、き

裂先端近傍の材料の挙動のみによって支配される脆性的逐次破壊現象の強度を知るものとして、本報告で示した混合モード破壊靱性試験は、有効と思われる。

参考文献 (1) 線形破壊力学入門 岡村弘之著 培風館

(2) 藤井、後藤；“切欠き (欠陥) からのき裂進展解析について” 第38回年次学術講演要集Ⅲ, 1983

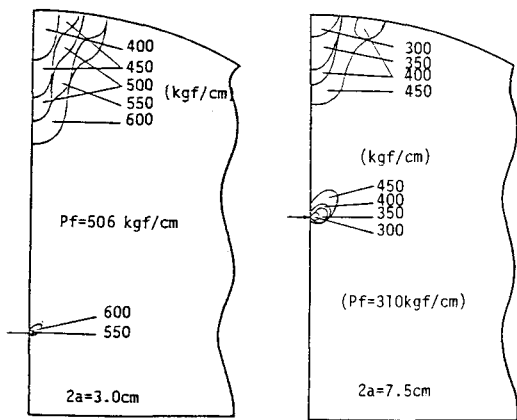


Fig.3

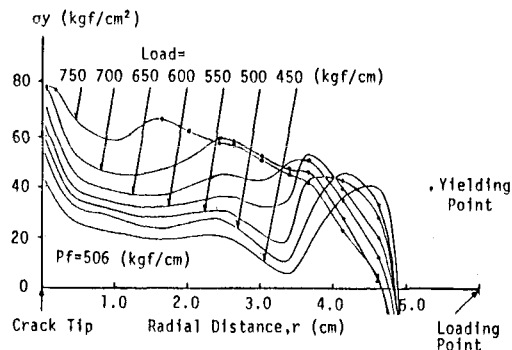


Fig.4

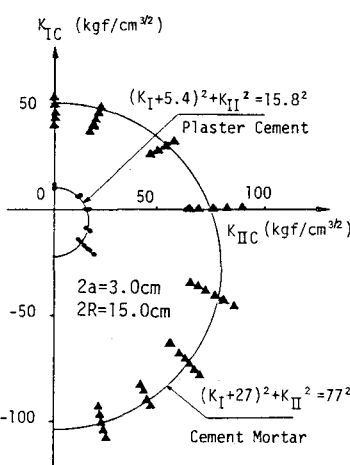


Fig.5

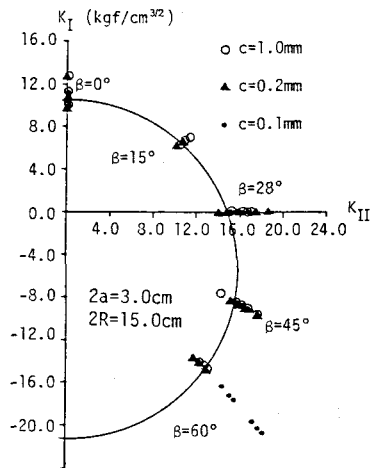


Fig.6