

III-156

岩質材料の混合モード破壊規準とその考察

徳島大学工学部 正員 藤井清司
 徳島大学大学院 学生員 ○原田英一
 徳島大学大学院 学生員 森 稔

1. まえがき 欠陥を内在する岩質材料に荷重が作用した際の破壊現象を的確にとらえるため、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の適用性について研究を進めている。ここで、岩石等に内在する欠陥部(き裂等)に荷重が作用して破壊に至る場合、そのき裂先端近傍の応力状態はモードIのみならずモードIIとの混合モード状態となっている。そこで、応力拡大係数の限界値である破壊靱性値(K_{IC}値)をもって材料の破壊規準とするため、これを知る目的で円板試験体による圧裂試験を行い、これより混合モード破壊靱性値を求めてすでに発表している。しかし、試験より得られる靱性値を計算する規準となる荷重値は、試験体の破壊が切欠き(欠陥)から最初にき裂が発生すると同時に瞬時に試験体端部まで達し、この間にその値が最大値を示すため、き裂が最初に発生した時点での荷重値を決定することは非常に困難である。そこで、本報告中に最大荷重状態と記される試験時の最大荷重をもって靱性値計算の規準としたものと、今回種々の工夫をして初期き裂発生時の荷重を得ることに努めた結果とを報告する。また、従来、破壊規準式を円¹⁾で提案していたが、荷重軸と切欠きのなす角度 β が40°から45°以上の時、モール・クーロン型の放物線²⁾表示が妥当と考えられるので、それらの両者の比較も行ったのであわせて報告する。

2. 試験体寸法および試験方法 岩質材料

として、材令一週間のセメントモルタル(重量配合比は、水:普通ポルトランドセメント:細骨材=1:2:6)を用いて図-1に示するような円板試験体を作製する。試験体には、打設時にあらかじめ両側4mmのテーパ部を持つ厚さ1mmの薄い鉄板を型枠に垂直に立てておき、半硬化後にこの鉄板を抜き取ることににより切欠きを作製する。この切欠きの長さは試験体直径15cmに対して3cmである。載荷方法としては、手動式のオイルジャッキを用いて0.5tf/minとなる様、荷重制御とする。また、この試験体の切欠き角度 β を荷重軸に対し、0°, 10°, 20°, 28°, 40°の5種類とし、圧裂試験に供する。試験に際して、切欠き角度 β を40°としたのは、過去の混合モード破壊試験において切欠き角度 β が45°より大きな領域では、き裂は必ずしも切欠き先端から発生しておらず、これより得られた結果は破壊靱性値を与えないため、本試験においては切欠き角度 β を40°以下としている。

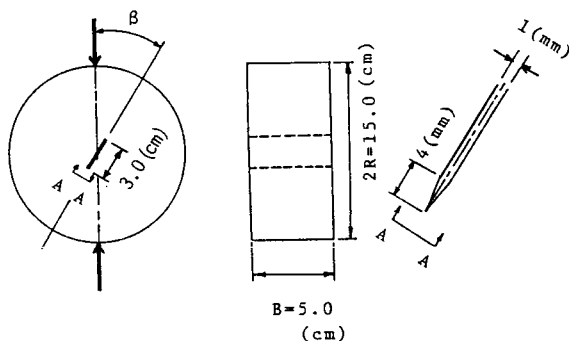


図-1 試験体寸法

3. 試験結果 混合モード破壊規準において、最大荷重状態に関するものは、昨年度までの報告により図-2に示す円として近似できる次式を得ている。

$$(K_I + 27.0)^2 + K_{II}^2 = 77.0^2$$

図上の点は、今年度新たに行った破壊靱性試験の結果である。これより、従来の規準の信頼性が検証される。また、切欠き先端よりき裂が発生した状態における破壊靱性値を求め、円による近似を行い次式を得たそれを図-3に示す。

$$(K_I + 20.0)^2 + K_{II}^2 = 57.0^2$$

これらの初期き裂発生状態および最大荷重状態における破壊靱性値および荷重値についてそれぞれ比較を行った結果、初期き裂発生状態より求められた破壊靱性値は、後者の約80%とほぼ一定となった。

次に、混合モード破壊規準式として、初期き裂発生状態および最大荷重状態に対して従来と同様に円による近似の他に、今回新たに放物線による近似を行ってみた。これらの近似より得られた放物線は次式のようになり、それぞれ図-2、図-3に示したようになる。

$$K_I = -0.0127 K_{II}^2 + 50.5 \quad (\text{最大荷重状態})$$

$$K_I = -0.0158 K_{II}^2 + 41.8 \quad (\text{初期き裂発生状態})$$

このように求められた2種類の破壊規準式を比較してみると表-1のようなになる。前者における規準についてみてみると、切欠き角度 β が 20° 、 28° に関しては多少差がみられるが、その他の角度に関しては、円と放物線ともに全体的に近い値を示している。また、後者における規準については、円と放物線ともに全体的に近い値を示している。これらより、切欠き角度 β が 40° 以下の領域においては、円および放物線により近似される破壊規準は、両者とも十分に有効である。

4. 結論 円板試験体の圧裂試験により混合モードの破壊規準を求める試験は、切欠きと荷重軸の方向を変えることで (K_I, K_{II}) の破壊靱性値を連続的かつ容易に得ることができる。また、それより求められる値は、ほぼ一定値となり信頼性も高い。

本報告では、切欠き先端からき裂が発生した時点での荷重値を得ることに重点をおいたが、まだ完全にその値を確定できたとはいいがたく、特に β が 0° から 20° の範囲では試験体が不安定破壊、すなわち初期き裂発生と同時に最大荷重を示し、試験体が崩壊してしまう状況を示すので、このあたりの荷重値に対しては、より多くのデータの集積が必要である。しかし、今回切欠き先端よりき裂が発生した状態から求められる破壊靱性値は β のすべての角度で最大荷重状態の破壊靱性値の約80%という結果を得た。

破壊規準式については、従来の円により近似される規準と同様、放物線により近似される規準も十分に有効である。

参考文献 1) 藤井他；混合モード下の破壊靱性値と分岐

き裂の解析について、第37回年次概要集III, 1982。 2) 矢富・藤井他；混合モード (K_I, K_{II}) 下における岩質材料の破壊条件、第19回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、1987。

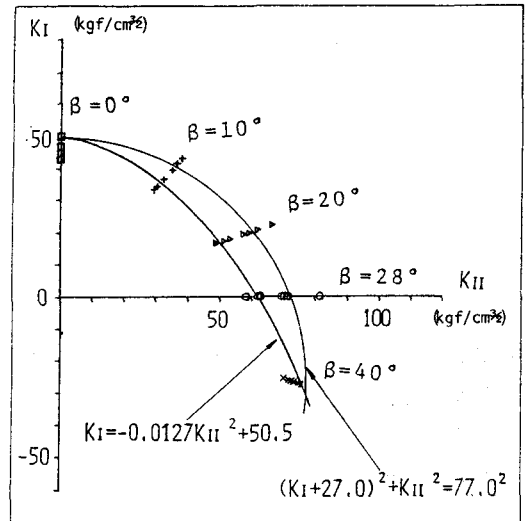


図-2 最大荷重状態より求めた破壊基準

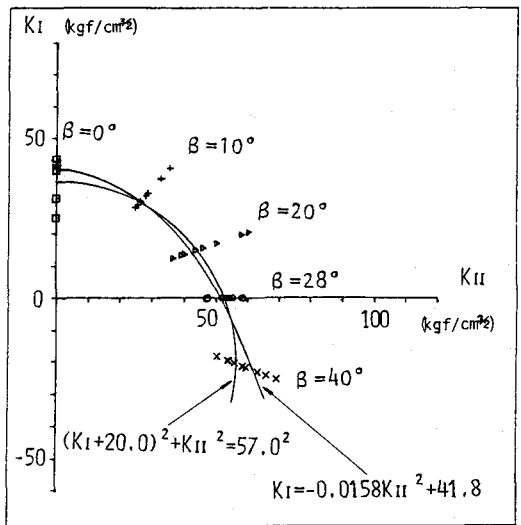


図-3 初期き裂発生状態より求めた破壊基準

表-1 2種類の近似式の比較

β	最大荷重状態		初期き裂発生状態	
	K'_I/K_I	K'_{II}/K_{II}	k'_I/k_I	k'_{II}/k_{II}
0°	1.01	----	1.13	----
10°	0.91	0.88	1.00	1.00
20°	0.83	0.82	0.89	0.90
28°	----	0.85	----	0.96
40°	0.96	0.98	1.11	1.08

(注) K : 円近似による破壊靱性値
 K' : 放物線近似による破壊靱性値