

徳島大学工学部 正員 〇藤井 清司
 徳島大学大学院 学生員 福崎 雅之
 徳島大学大学院 学生員 藤井 明

よえがき 欠陥を有する岩質材料への線形破壊力学の適用性について研究を進めているが、今回、内部欠陥と力学的に等価な単一切欠きを有する円板モデルについて、混合モード状態破壊じん性試験により求められた限界応力拡大係数を破壊条件として、き裂進展状況の解析を行った。この時、解析にFRONT法を導入することにより計算機内容量の削減およびプログラムの簡素化をはかり、き裂進展実験状態に一層近づけるため強制変位増分により解析を進め、良好な結果を得たので報告する。また、応力拡大係数の計算法として、エネルギー法および積分法による適用性についても検討を行ったので、これについても報告する。

円板のき裂進展解析 き裂進展解析に破壊力学的手法を用いた本研究の解析プログラムの有効性については、前回までに報告されている。しかし本研究で行っているき裂進展実験は、供試体の変形速度を制御して、終局非常におそひずみ制御(0.033%/min)の方法をとっているため、荷重増分による従来のプログラムでは、完全に実験状態を再現しているとはいえない。そこで今回、強制変位増分によるき裂進展解析を試みたが、これは解析モデルに一定増分の強制変位を加えている。FRONT法による連立方程式の解法を用いることにより、変位増分の各ステージにおける反力を計算し、そのステージごとにき裂先端における応力拡大係数を計算して、その破壊規準を越えていなければ変位を順次増加させ、破壊規準に達すれば、その時の強制変位のままで再び弾性計算を行い、この結果をそのステージでの破壊荷重とする方法である。この操作の繰り返しにより、ひずみ制御によるき裂進展をシミュレートしようとするものであるが、ここで破壊力学的手法における混合モードの破壊規準は次式で表わされる。

$$(K_I + 27.0)^2 + K_{II}^2 = 77.0^2 \quad (K: \text{kgf/cm}^{3/2})$$

なお、解析における破壊力学的手法の詳細については参考文献(1)を参照したい。解析モデルは、直径15cm、板厚4cm、切欠き長さ3cmの単一切欠きを有するセメントモルタル製の円板で、これに鉛直方向より集中荷重を載荷する圧裂試験状態を解析する。鉛直軸からの切欠きの傾き β は 0° 、 15° 、 28° 、 45° 、 60° である。

図1は解析結果との比較のため、実験結果として数回の実験から得られたき裂進展状況を重ね合わせて示したものである。そして図2は解析結果によるき裂進展図であるが、切欠き先端から発生したき裂はゆるやかに中心軸方向に接近しながら、上下の載荷点に向かって進んでおり、実験での状況をよく再現している。また破壊荷重も実験値に非常に近い値であり、これは過年度までの荷重増分による解析値より、さらに実験値に近いものである。また図3は、荷重～き裂長さの関係を示すグラフであり、縦軸に各ステージでのき裂発生荷重を、横軸にその時のき裂進展量の累積をプロットしたものである。ここでは一例として、 $\beta=0^\circ$ の場合のみを示す。図で破線は荷重増分法によるもの、実線は変位増分によるものであるが、図から変位増分による本年度解析法の方が不安定破壊の状況を明確に

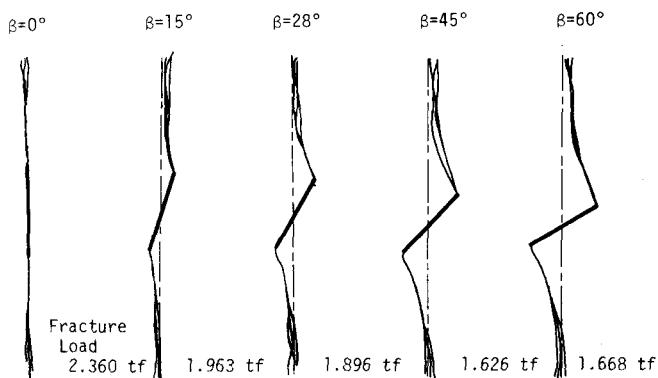


図1 円板の実験によるき裂進展状況

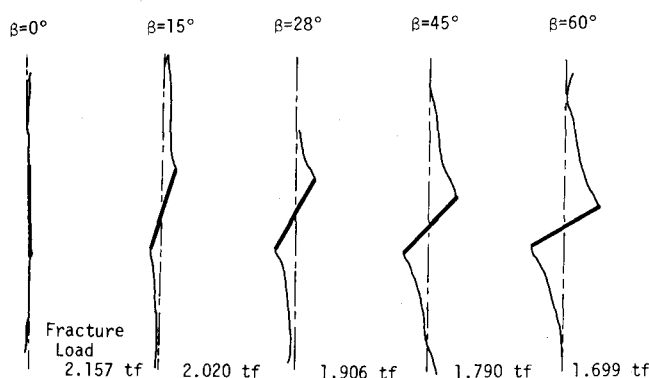


図2 円板の解析によるき裂進展状況

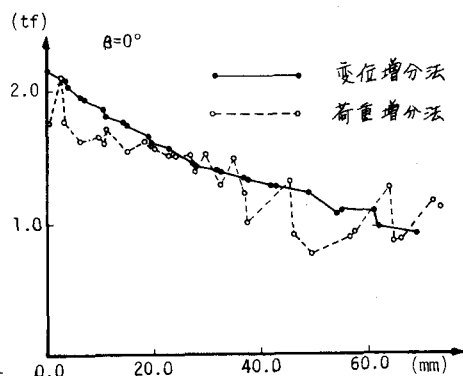


図3 荷重～き裂長さの関係

とらえていることがわかる。また従来のプログラムでは計算機容量が約1300KB必要であるのに対し、今回、FRONT法の導入により、約300KBに削減できた。

エネルギー法・J積分法による応力拡大係数計算法 本研究において応力拡大係数計算に用いている村上の簡便法とは別に、一つの試みとしてエネルギー法・J積分法を用いて K_I 値を求める。解析モデルには中央に切欠きを有する円板モデルを採用し、8節点アイソパラメトリック要素を基礎とするFEMにより、解析を行う。これらの方法を要約すると、エネルギー法では、切欠きを仮想進展させた前後のひずみエネルギーの差を計算し、それをエネルギー解放率 G に変換して K_I 値と導くものである。また、J積分法では、切欠き面で閉じた任意の閉曲線経路 Γ に沿って、一種の線積分を行い、積分値 J を計算し K_I 値と導くものである。ここで経路が要素内のガウスの積分点を通るようにし、切欠き先端に近い経路から順に番号を付ける。J積分法はエネルギー法と根本を同じくするので、理論上 $J=G$ である。いま、図4のように円板モデルに集中荷重を載荷させた場合を考える。石田による理論値と各方法による値とを比較する。特に切欠き先端付近の応力場の特異性を表現できるように、切欠き先端を特異要素とした場合も同時に示す。切欠き長さ a が直径に比べ小さい範囲では理論値に近い値が得られるのに対し、これが大きくなると各値にばらつきがみられる。しかしエネルギー法に関してはJ積分法よりも精度が良いといえる。これはエネルギー法が、切欠き先端付近ではなく全体としてのひずみエネルギーに着目しているからで、要素分割に左右されない方法であるためと思われる。これに対してJ積分法は、図5のように経路によって K_I 値にかなりの差が現れる。図4に示した値は、これらの全経路の単純平均である。J積分法は、引張問題については各論文で経路による一定の値を示すことがわかっているが、このように圧縮問題に対しては、要素分割・経路のとり方が及ぼす影響は大きいものと思われる。従って種々の要素分割についての検証が必要である。これについての詳しい結果報告は当日行う。

参考文献 (1)藤井ら；混合モード下の破壊じん性値と分岐き裂の解析について、第37回年次学術講演概要集3, 1982 (2)藤井ら；切欠き(欠陥)からのき裂進展解析について、第38回年次学術講演概要集3, 1983

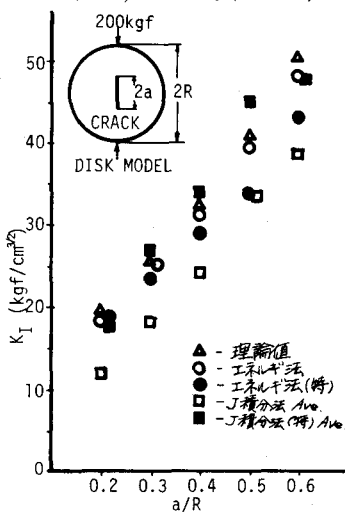


図4 E法・J法による K_I 値

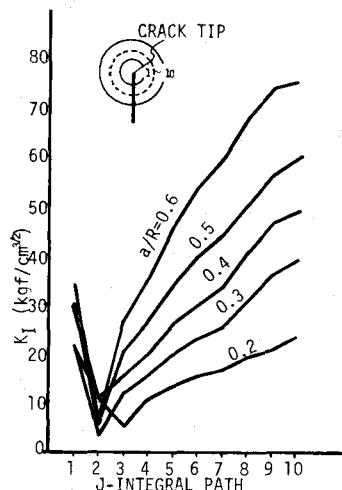


図5 J法での K_I 値の変化