

III-207 切欠きを有する岩質材料のせん断荷重下におけるき裂進展解析

徳島大学工学部 正員 ○藤井清司
 (株)大林組 正員 福崎雅之
 徳島大学大学院 学生員 原田英一

1. まえがき

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、岩石中に存在する内部欠陥と力学的に等価とみなせる脆性材中の切欠きに対して、せん断荷重が作用するとき、そこから発生、進展するき裂の挙動をとらえることを目的として、2, 3の実験と解析を行った。ここで、破壊力学の立場でせん断破壊について論じる場合、破壊の始まる限界値として破壊靱性値 K_{Ic} が重要な意味をもってくるので、まず一面せん断試験により K_{Ic} 値の試算を行う。そしてこれを従来より用いている混合モード破壊標準式と比較した後に、せん断荷重下における岩質材料のき裂進展実験を行い、解析にこれら標準を用いることにより、その妥当性の検証を行ったので報告する。

2. 一面せん断試験による K_{Ic} 値

試験体寸法は、図1(a)に示すような10cm x 10cm x 5cmの正方形板とし、材令1週間のセメントモルタルで、せん断面に沿って両側に2.5cmの切欠きを有している。また垂直圧は、20, 10, 6.7kgf/cm²の3種類とし、スクリージャッキを用いて手動で載荷調節を行い、せん断速度は、変位制御(0.25%/min)とする。その結果は、図2に示すように各垂直圧に対してはほぼ一定した値を得た。ただし、垂直圧の小さい場合には、多分に斜め引張りひび割れの発生が確認されたため、全体として若干小さめの値となったが、垂直圧が今回の試験の最大値である20kgf/cm²の場合には、破壊はほぼ一瞬にして起こり、斜め引張りひび割れの発生もみられなかったことから、モードIIの状態を満足した値であるといえる。

3. 混合モード破壊標準との比較

実際の岩盤内では、応力が複雑に作用し合う、多軸応力状態にあり、これを平面問題として取扱う場合、モードIとモードIIの変形が同時に生じる混合モード状態と考えられる。混合モード破壊標準については、前年度までの報告により、円板の圧裂引張り試験から図3に示す半円として近似できる次式を得ている。

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

図上 K_{II} 軸上の点は、垂直圧20kgf/cm²の場合の破壊靱性試験の結果である。これより、一面せん断試験から求めた破壊靱性値 K_{Ic} も妥当なものであり、これらの値はせん断荷重が作用するときの破壊標準として有効であると考えられる。

次に、図1(b)に示すせん断面に対して反時計まわりに $\beta = 45^\circ$ の切欠きをもつ正方形板に対し、上の一面せん断試験と同

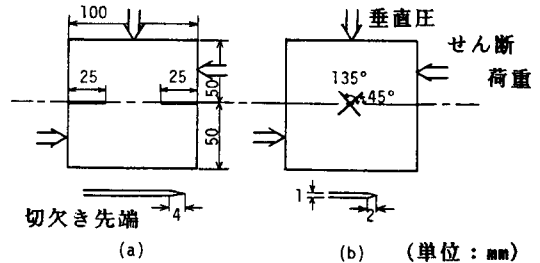


図-1

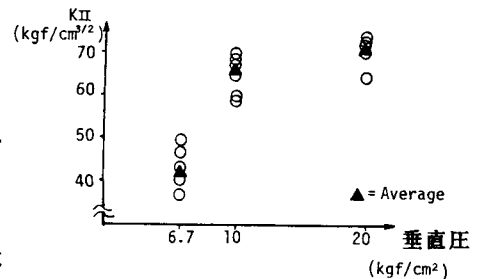
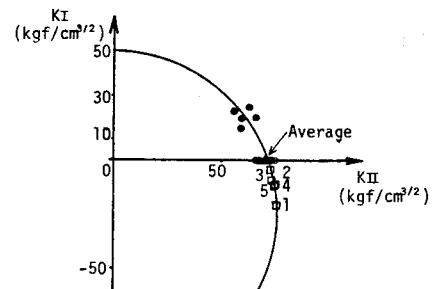


図-2



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

図-3

様の条件で行った、き裂進展実験において、切欠き先端近傍での三方向抵抗線ひずみゲージより得られた K 値を図3中に●印で示す。これらは、データの少なさから幾分ばらつきは見られるものの、ほぼ混合モード破壊規準に沿った値でき裂が発生していることが明らかである。

4. 正方形板のき裂進展解析

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(参考文献)までに報告されている。そこで、今回の解析法の汎用性をさらに広げるために、特に K_I 値が負になる状態での処理と、き裂進展方向角の決定法を重視した解析を行った。

実験および解析において、混合モード状態でモードⅡによる変形が、モードⅠによる変形より卓越した場合、言いかえるなら、せん断破壊による要因が強まった場合、 K_I 値が負になることがあるが、これは垂直圧および切欠き角度の関係から、内在する切欠きの切欠き面が圧縮応力を受けて閉じる方向に変形をしたと考えられる。したがって、この場合開口型変形モードのパラメータである K_I 値の説明としては問題となるが、破壊条件は K_{II} 値が支配的であるとして解析を進める。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)、(2)を参照されたい。

解析モデルは、2で述べたせん断試験に用いたものと同形状、同寸法のもので、図1(b)に示す切欠き長さ1cmの単一切欠きをせん断面に対して、それぞれ反時計まわりに 45° 、 135° の角度で有するセメントモルタル製の正方形板2種類の、計3種類とする。また、解析時のき裂進展方向角としては、いくつかの方法を試みた結果、 $K_I > 0$ の場合は、材料がせん断よりも引張りに弱いということを考慮して、従来通りき裂先端要素の最大主応力に対して直角な方向にき裂が進展するものとし、 $K_I \leq 0$ の場合は、き裂先端要素の最大せん断応力の方向にき裂進展方向を採用することにより、精度の良い結果が得られた。図4は、解析結果との比較のため、数回の実験より結果として得られたき裂進展経路を重ね合わせて示したものである。そして、図5が、実験に対応した解析結果であるが、いずれも実験での状況を良く再現しており、これらの解析方法は有効であると考えられる。

また、混合モード破壊規準の $K_I \leq 0$ での適用性については、今回の解析結果から、少なくとも図3の円において K_{II} 値が最大値となるあたりまでは、その適用範囲として採用できるものと考えられる。この一例として、 $\beta = 135^\circ$ の場所のき裂進展解析の各段階における(K_I , K_{II})を図3に□印で示した。これについては、今後さらに垂直圧の種類および切欠き角度を変えた実験、解析を行い、それらの結果から、混合モードの条件式の適用範囲を探ることが重要であると考えられる。また、今回は、き裂進展方向角の決定には、 $K_I = 0$ を境界としたが、 $K_I > 0$ の側においても、 K_I 値が小さな場合せん断の影響が考えられるので、これらき裂進展方向の決定は今後の課題となる。

参考文献

- (1) 藤井他；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回年次概要集Ⅲ、1982。
- (2) 藤井他；切欠き(欠陥)からのき裂進展解析について(続報)、第39回年次概要集Ⅲ、1984。

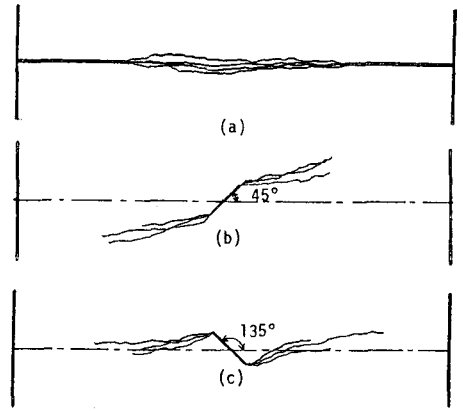


図-4 実験によるき裂進展図

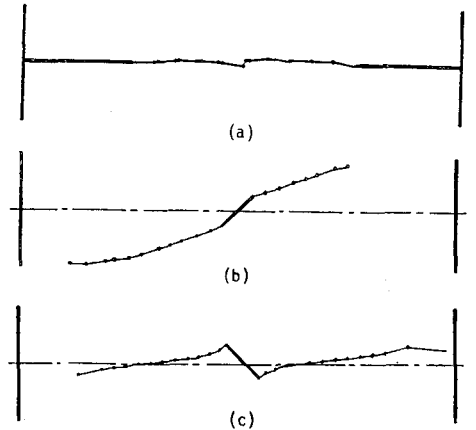


図-5 解析によるき裂進展図