

III-280 岩質材料内のき裂進展による破壊機構の解明

徳島大学工学部 正員 藤井清司
徳島県 正員 ○中村正将
(株)日本国土開発 岡野隆

1. まえがき 岩質材料の破壊機構を調べるために、複数個の切欠きの大きさ、配置を変えた供試体に対して曲げ载荷試験を行う。この時、切欠き先端にはせん断応力が作用し混合モード状態となるようにする。そして、アコースティック・エミッション（以下AEと略す）、開口変位、および、たわみにより切欠き先端からき裂が発生・進展する状況を監視する。き裂が発生した時、そこでの応力拡大係数を三方向ひずみゲージより求め、その有効性を確かめる。また、この状態を有限要素法により解析したので、これらの結果について報告する。

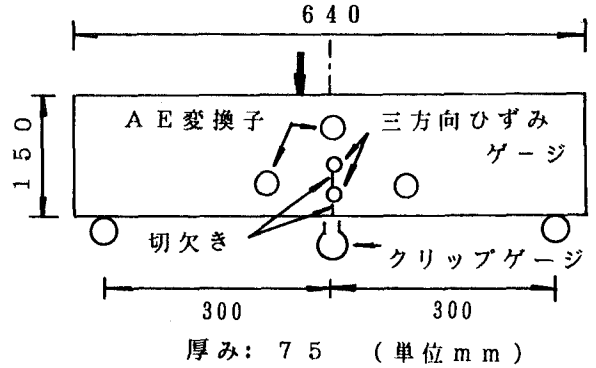


図-1 試験体

2. 三点曲げ試験 岩質材料としては、材令が一週間のセメントモルタル（重量配合比 水：普通ポルトランドセメント：細骨材＝1：2：6）を用いる。供試体形状は高さ15cm、長さ64cm、厚み7.5cmで、中央部の切欠きの種類を変え3種類とする。切欠き幅は1mmでその先端部は4mmのテーパー状である。载荷方法は、供

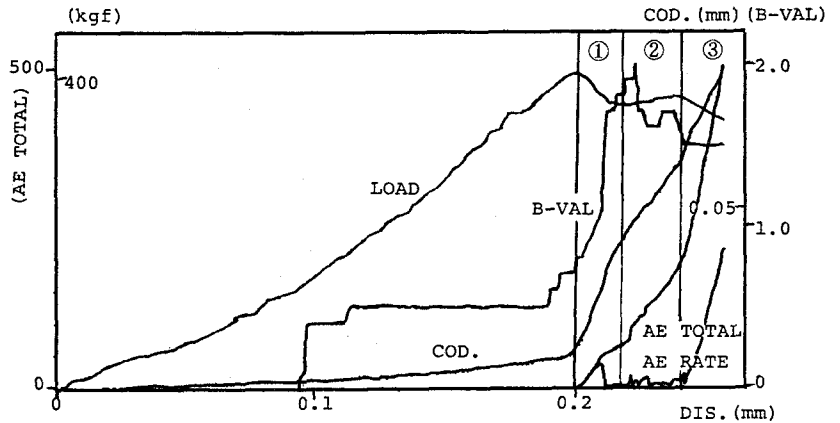


図-2 TypeAのAE実験結果

試体中央から5cm及び10cmずらした位置への集中荷重とし、スパン長は60cmである。また、切欠き先端部に取りつけたクリップゲージより開口変位を測定し、供試体中央上部に変位計を取り付け、たわみを測定する。ゲージ長6mmの三方向ひずみゲージは各供試体に2枚貼り、その貼り付け位置は、ゲージ中央が切欠きおよびスリット先端5mmの位置になるように貼り付け、そこでの応力状態を知って応力拡大係数を求める。AE変換子は一辺10cmの直角二等辺三角形の頂点に取り付け、これにより、AE累積数、AE発生率、振幅規模別頻度分布の負勾配（B値）、および、到達時間差を測定する。

3. 曲げ試験結果 図-2にはTypeAの横軸をたわみ表示した試験結果を示す。ここで、添え字は载荷点供試体中央から5cmずれていることを表す。荷重の1回目のピークまでは開口変位は一定増加しており、これは弾性的に切欠き先端が開いたことを示している。①の区間では荷重が減少しているが、そこでは開口変位は急増している。これは、下部切欠きからき裂が進展したことにより、開口変位が急激に増加したことを表している。②の区間では、再び荷重が増加しているが、開口変位は先ほどに比べて緩やかな増加を示し

ている。これはき裂の進展が上部切欠きで一旦停止し、再び弾性的な挙動を示しているためである。③の区間では荷重が減少している。これにより上部切欠きから再びき裂が進展し、開口変位が急激に増加している。この開口変位に対応してAE-TOTALも非常によく似た結果を示している。最大荷重までは、弾性的な挙動で開口変位は一定増加を示しており、AE-TOTALもこれに対応して緩やかな一定増加を示している。最大荷重を過ぎてき裂が進展する区間になると、開口変位が急増するのに合わせてAE-TOTALも急増している。2回目の荷重のピーク以降ではき裂が進展し、開口変位は激増しており、これに対応してAE-TOTALも激増している。これにより耐荷力喪失の過程とAE-TOTAL、及び開口変位の増加の仕方は互に対応していることが明らかとなる。位置標定においては、載荷を始めてから完全に破壊するまでに得られた到達時間差のすべてについて位置評定を行い、き裂の進展を追跡する。Type A₅の結果をみると切欠き上端部にAEの発生が集中している。そして、荷重の大きなものは下方にそして上方に行くに従って荷重が小さくなっている。これはき裂の進展にともなって荷重が減少していることを示している。つまり、位置標定結果から得られるき裂発生時の荷重値と、荷重曲線の減小点での荷重値は一致していることが分かる。以上のことより、岩質材料のように、荷重に複数のピークが存在する時には、AE計測は非常に有効であることがわかる。また、Type A₅のき裂発生時に相当するひずみ値を三方向ひずみゲージより求め、それにより応力拡大係数を計算した結果は破壊規準放物線とよく一致している。このことより、三方向ひずみゲージによって応力拡大係数を求めることが可能であることがわかる。

4. 有限要素法によるき裂進展解析 ここでは複数の切欠きを有するぜい性モデルに対して、き裂進展解析を有限要素法によって行い、き裂の生じた要素を自動的に再分割することによって、新しい要素境界としてき裂を表現する手法を用いている。き裂の進展を解析する場合には、参考文献1)に示されている方法を用いる。実験で得られた結果、すなわちせん断荷重下におけるぜい性材料の破壊挙動を、破壊力学的手法でシミュレートし、この解析条件及び精度を検討する。

5. 解析結果 Type A₁₀について説明すると下部切欠きからのき裂の進展は実験結果に近い値を示している。また上部切欠きに関しても、初期き裂の発生方向及び荷重については、実験値とよく一致している。しかし、き裂の進展経路には若干の差がある。実験結果では、き裂の進展経路は最初は載荷点に進んでいるが、途中から真上の方向に向きを変えている。しかし、解析はそのまま載荷点に進んでいる。この理由として、解析では、載荷点において応力の集中がありその影響でき裂は最後まで載荷点に進むが、実験ではき裂の進展にともなって載荷点の影響が小さくなるためと考えられる。実験ではある程度き裂が進展すると、供試体に変位をかけなくてもき裂は進展し破壊に至る。このことが以上の結果に表れている。つまり下部切欠きのき裂の進展開始、き裂の進展量の計算、き裂の進展停止、き裂の進展方向に関する条件はうまく適応しているが、上部切欠きについて若干の差がある。理由としてこの解析モデルは複数の切欠きを有しているが、き裂が進展した状態においては、非常に複雑な応力状態になること、さらに解析においてはき裂の進展は静的に進み、載荷点近傍では最後まで応力の集中が起こっている。しかし、現実のき裂の進展はひずみエネルギーが蓄積されそれが一気に解放されて起こるためによる動的要因も加わり、そして、き裂の進展途中から自重により載荷点の影響がなくなることなどがあげられる。

参考文献 1) 藤井他; 切欠きを有..., 第41回年次Ⅲ, 1986. 2) 藤井他; AEによる..., 第46回年次Ⅲ, 1991.

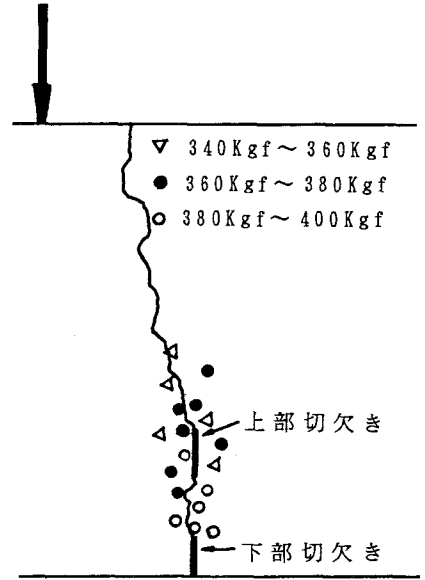


図-3 Type A₅のAE位置評定結果