

III-279

岩質材料の混合モード破壊靱性試験と境界要素法による解析

徳島大学工学部 正 員 ○ 藤井 清司

鹿島建設(株) 正 員 本田 育大

1. はじめに 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捉えるため、応力拡大係数(K値)を力学的環境パラメーター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、そのき裂先端部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。ここで、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、複合応力仮説により放物線型破壊規準式を導いている。そして、その一つの検証として、一つの岩質材料を設定して、その材料で作製された円板試験体による圧裂引張試験を行い、円の式で近似できる円弧型破壊規準式をすでに発表している。しかし、本論文では今までの円板試験体とは異なった形の試験体により試験を行い、放物線型破壊規準式を満足する結果を得るか、どうかを調べるために三点曲げ試験、四点せん断試験を行う。そこで、初期き裂発生荷重による破壊靱性値を求め、その結果から破壊規準式の決定を行った。この時、切欠き寸法比の影響を調べるために、切欠き長さを変えた試験体による試験も行った。また、数値解析によりそれらの値を求めたので、これらの結果につき報告する。

2. 試験方法 試験体作製の岩質材料として、材令一週間のセメントモルタル(重量配合比 水:普通ポルトランドセメント:細骨材=1:2:6)を用いて、三点曲げ試験体と四点せん断試験体を作製し、载荷点と切欠き位置を変えることにより、切欠き位置でのせん断力と曲げモーメントの比を変え、モードⅠとモードⅡの混合モード状態を実現した試験体を行う。また、試験体ごとに、試験体の高さに対する切欠き長さの比である、切欠き寸法比を $a/w=0.5, 0.4, 0.3$ の場合に分けて試験を行う。試験体形状および切欠き形状を図-1、図-2に示す。なお、初期き裂発生荷重を求めるために、切欠き開口部にクリップゲージを装着し、荷重-開口変位曲線を描かせる。このような場合の初期き裂発生荷重を特定するために次に示す2種類の方法を採用する。

(1) 荷重-開口変位曲線と、その初期接線OAの95%勾配線OA'との交点における荷重値 P_{fk}

(2) 荷重-開口変位曲線の変曲点における荷重値 P_{fh}

また、この時フースティック・エミッション計測により、き裂の発生・進

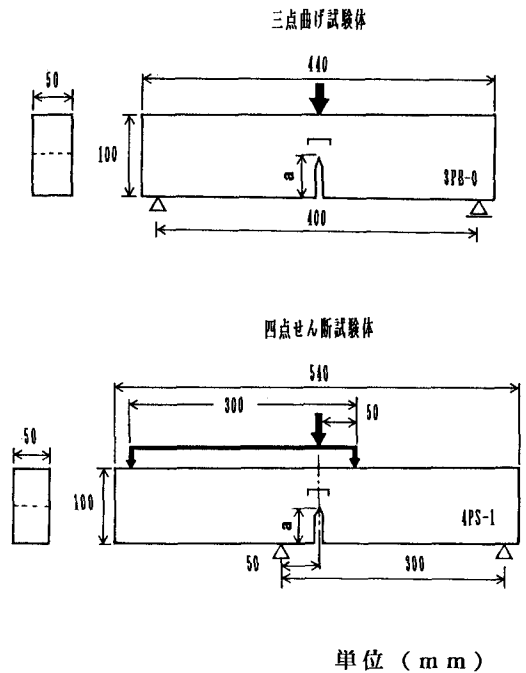


図-1 試験体形状

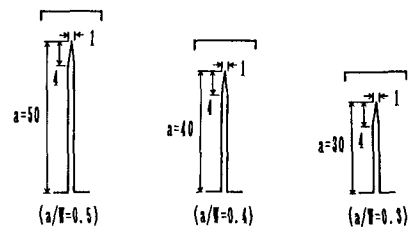


図-2 切欠き形状

展の監視を行う。そこで、本研究では、上記の初期き裂発生荷重 P_{fk} 、および、 P_{fh} を用いて応力拡大係数を求め、それらより得られる破壊規準値について検討する。

3. 実験結果と考察 初期き裂発生荷重 P_{fk} 、 P_{fh} の荷重値により破壊靱性値を求め、円弧型破壊規準式と放物線型破壊規準式との比較を行う。ここで、二種の荷重値はほぼ等しいので、図-3には初期き裂発生荷重値 P_{fk} における結果のみを示す。三点曲げ試験体における各試験体の破壊靱性値は、切欠き寸法の大小にかかわらず、ほぼ一定値を示し、破壊規準式をよく満足している。また、四点せん断試験においても、各試験体の破壊靱性値は

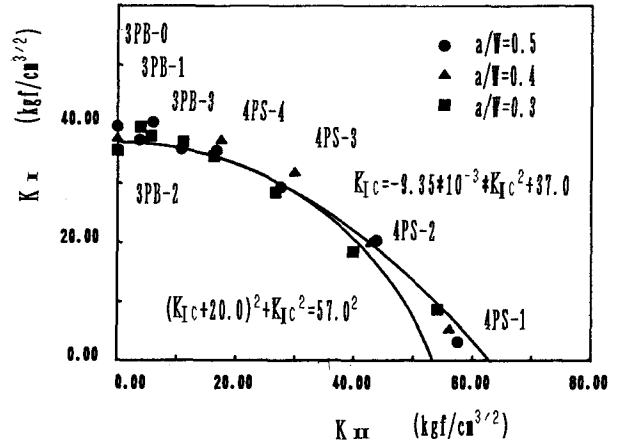


図-3 初期き裂発生荷重時破壊条件

破壊規準式をほぼ満たす結果を得ている。これにより三点曲げ試験、四点せん断試験では、円弧型破壊規準式に比べて、より放物線型破壊規準式を満たす結果となっている。したがって、岩質材料における混合モード破壊規準として放物線型破壊規準式は十分有効である。

4. 解析方法 本研究では、三点曲げ試験体、四点せん断試験体に対して境界要素法解析を行い、これらの試験体における初期き裂発生荷重時の応力拡大係数 (K 値) と切欠き開口部での開口変位 (COD) を算出し、試験により得られたそれと比較、検討を行う。応力拡大係数の決定には、変位外挿法と応力外挿法を、同時に用いて外挿する接続外挿法を採用する。ここで、変位外挿法とは、き裂先端近傍での直接解の低下を避けて、切欠き面上の節点値から K 値を求め $r \rightarrow 0$ 、即ち、き裂先端へと外挿するものである。また、変位外挿法では、き裂先端付近の各節点のき裂先端に対する変位はき裂上下面の相対変位を採用することにする。また、応力外挿法とは、リガメント上の各節点における応力を応力分布式により外挿するものである。

5. 解析結果と考察 初期き裂発生荷重における K_c 値の解析値と実験値との比較の図を図-4に示す。図中に実験値との誤差 $\pm 5\%$ 線を引き、精度の確認を行っている。これらの図から全試験体ともに実験値と解析値との誤差が $\pm 5\%$ 内に入っている。また、初期き裂発生荷重における切欠き開口部での COD を解析によって求め、それらの値と試験結果との比較を行ったところ、解析結果は実験値によく一致している。したがって、境界要素法の弾性解析は、切欠き開口部の COD の解析値と実験値との比較からも分かるように、精度良く混合モード状態を再現できている。き裂面上での精度よく得られた変位を用いて算出する変位外挿法、そして、応力外挿法との複合型である接続外挿法による K_c 値の信頼性もかなり高いものであることは明かである。

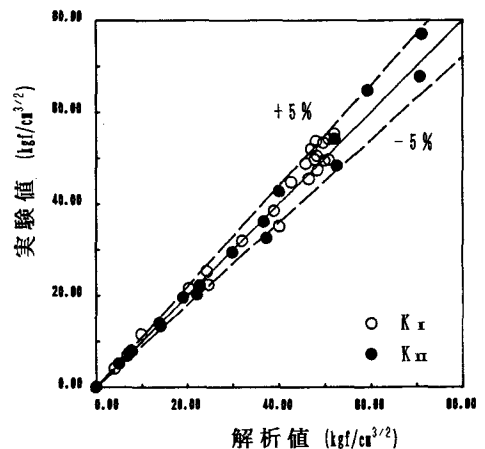


図-4 実験値と解析値の比較

参考文献 1) 矢富, 藤井他; 複合応力仮説による岩質材料の混合モード破壊条件とその実験的検証, 土木学会論文集, 第382号/Ⅲ-7, 1987.

2) 結城, 木須; 境界要素法による弾性解析, 培風館, 1987.