

徳島大学大学院 学生員 ○後 藤 喜 陸
徳島大学工学部 正 員 藤 井 清 司

予えがき 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、欠陥と等価な単一切欠きを有する円板について、混合モード破壊規準を用いたき裂進展解析に加えGriffithの破壊規準を導入することにより切欠き面上からのき裂の発生をとらえることを試みた。また、2つの平行する切欠きを有する長方形板については、圧縮載荷実験と、円板と同様の手法を用いた解析法で切欠き相互の影響を調べ、そして、命岐き裂問題への解析法の拡張も行った。さらに、応力拡大係数の計算法として和田らによる方法⁽²⁾の適用性についても検討したので、これらについて報告する。

円板のき裂進展解析 き裂を取扱う場合、破壊力学的手法を用いることの有効性については前回までに報告されている。しかし、破壊力学的手法では、実験でみられるような切欠き面上からのき裂の発生については取扱うことができない。そこで、従来の破壊力学的手法に加えGriffithの破壊規準を導入することにより切欠き面上からのき裂の発生をとらえる。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。

$$(K_I + 27.0)^2 + K_{II}^2 = 77.0^2 \quad (K: \text{kgf}/\text{cm}^{3/2}) \quad \text{-----(1)}$$

そして、Griffithの破壊規準を要約すると次式のようになる。ここで、 σ_t は引張強度、 α は O 軸からのき裂進展角度である。 $\sigma_t + \sigma_c > 0$

$$\left. \begin{array}{ll} \text{(i)} \quad 3\sigma_t + \sigma_c \geq 0 \text{ のとき} & \sigma_t - \sigma_c \leq 0 \\ \text{(ii)} \quad 3\sigma_t + \sigma_c < 0 \text{ のとき} & \sigma_t - \sigma_c \leq 0 \quad \sigma_n = -(\sigma_t - \sigma_c)^2 / 8(\sigma_t + \sigma_c) \quad \cos 2\alpha = -(\sigma_t - \sigma_c) / 2(\sigma_t + \sigma_c) \end{array} \right\} \text{-----(2)}$$

さて、解析法であるが、き裂の発生条件として(1)、(2)式の規準を並行して用い、(1)の規準を満足した場合は、従来の破壊力学的手法で取扱い、(2)の規準を満足した場合は、切欠き面上からき裂を発生させ、一度き裂が発生した後は従来の破壊力学的手法で取扱う。なお、破壊力学的手法の詳細については参考文献を参照されたい。次に、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円板で、荷重軸からの切欠きの傾き β が 60° のものを用いる。図1は、解析結果と、比較のため実験結果を同時に示しており、実験結果は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。

図1から、破壊荷重等実験結果をよくシミュレートしていることがわかり、不安定破壊状況もとらえている。

長方形板のき裂進展実験 近接する切欠き相互の影響を調べる目的として、2つの平行する切欠き(長さ3cm、 $\beta = 60^\circ$)を有する縦26cm、横20cm、板厚4cmの長方形板の圧縮載荷実験を切欠き間隔を変化させたものについて行う。図2は、切欠き間隔 D_v が4cm、5cm、6cmの場合の実験結果であり、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てある。また、図中の荷重値は、切欠き先端より3mmの位置に

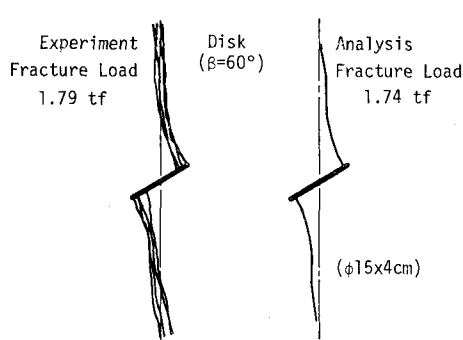


図1 円板のき裂進展状況

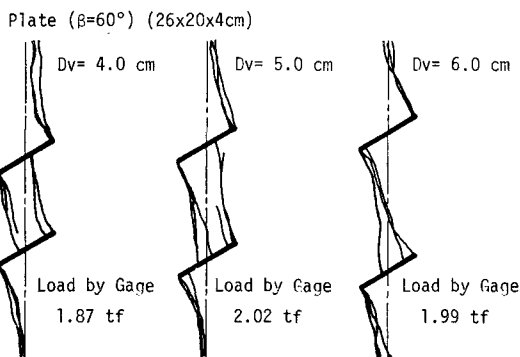


図2 長方形板の実験によるき裂進展状況

装着してある抵抗線ひずみゲージより得られる荷重-ひずみ曲線から求めたゲージ位置をき裂が進展するとそのものである。図2から、切欠き間隔 Du が5cm程度で切欠き相互の影響が小さくなるものと思われる。

長方形板のき裂進展解析 円板と同じ解析法を用いて、実験と同形状・同寸法の2つの平行する切欠きを有する長方形板(切欠き間隔 Du 4cm, 5cm, 6cm)についてき裂進展解析を行う。図3に解析結果を示し、図中の荷重値は、実験結果と比較するため切欠き先端から3mmの位置を通過するき裂に対応するものである。図3から、図2と比較することにより実験結果のき裂の挙動をよくシミュレートしていることがわかり、切欠き相互の影響範囲についても5cm程度と考えられ、実験結果とよく対応している。また、荷重値に関しては、実験結果から得られる値に非常に近い値を示し、安定破壊を呈することと示されている。なお、解析においては、長方形板では切欠き面からき裂が発生しなかった。しかし、この場合破壊規準を変えて、引張強度 σ が約 19 kgf/cm^2 より小さくすると切欠き面からき裂が発生することより、図2にみられるような切欠き面からのき裂の発生は、引張強度の影響が大きいと考えられる。そして、この実験体の形状・境界条件の違いにも影響されるものと思われる。

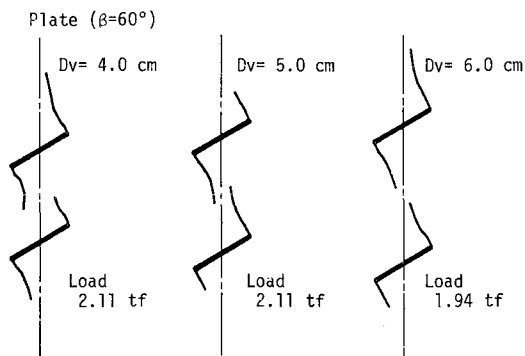


図3 長方形板の解析によるき裂進展状況

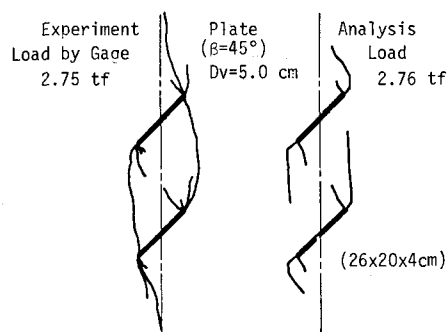


図4 長方形板のき裂進展状況

き裂進展解析法の分岐き裂問題への拡張 一般に切欠き先端から発生・進展するき裂の挙動は分岐・屈折を伴い複雑であるため、これらの分岐・屈折き裂の挙動をとらえることが問題となる。この問題については、前回の報告で試みられているが、今回は、前回用いた解析法を改良することにより、精度の向上を計る。解析モデルは、前回報告した2つの平行する切欠き(長さ3cm, $\beta = 45^\circ$)を有する縦26cm、幅20cm、板厚4cmの長方形板で、切欠き間隔 Du が4cm, 5cm, 6cmのものを用いる。図4は、解析結果の $Du = 5\text{cm}$ の場合を例として示したもので、比較のため実験結果を同時に示しており、実験結果は数回の実験から得られたき裂進展状況を重ね合わせたものである。図4から、き裂進展経路に関しては、解析結果は実験結果をよくシミュレートしていることがわかる。また、荷重値に関しても、解析値は実験結果とよく一致している。さらに、き裂の成長が荷重増分を伴う安定破壊を示しており、実験時の状況と一致している。

和田らによる応力拡大係数の計算法⁽¹⁾ 本研究においては、応力拡大係数の計算法として村上の簡便法を用いているが、この方法は、き裂が分岐・屈折した場合精度が落ちることが前回報告されている。このことから、この欠点に対処するため新しい応力拡大係数の計算法として和田らによる方法の適用性を試みる。この方法を要約すると、き裂先端要素の応力値のみが応力拡大係数に密接に関係するものとして、FEMより得られる応力の要素寸法の領域にかけた合力と、厳密解より得られる合力 P の比を求め、この時、合力 P は K 値の厳密解の求め、という2, 3の問題を解くことにより得られる。そして、FEMよりき裂先端の応力を求め、合力 P を用いて応力拡大係数を求めようとするものである。なお、この方法についての結果は、当日詳しく報告することにする。

- 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回年次学術講演摘要集3, 1982
(2)和田ら; 有限要素法による応力拡大係数の計算法と動的問題への応用, 機論, 47巻417号, 1981