徳山高専	正会員	橋本暨	<u>e</u> —
徳山高専	学生会員()山根原	戈史
徳山高専	正会員	島袋	淳

1. はじめに

土木構造物に隅角部をもつ部材は,鉄筋コンクリ ートラーメン部材やプレートガーダー溶接部等,多 く存在する.線形弾性体において隅角部がパーフェ クトシャープな状態であれば応力特異性が存在する が,実際にはそのような部材を作ることは不可能で あるし,塑性化すれば応力は値を持つことになる. したがって応力集中部材として扱うことが一般的で ある.しかし,き裂の発生を考察する場合,隅角部 周辺の応力を考慮すればよいが,どの位置の応力を 考えるかでその評価は若干変化する.例えば,破壊 力学においてき裂進展でよく用いられる Sih の最大 周応力クライテリオン¹⁾は周応力の位置でき裂の 進展方向が変わってくる.

本研究では、応力によるき裂発生の予測ではなく、 対象とするモデルと微小き裂を与えた2つのモデル を考慮し、微小き裂発生前と後の物体のもつひずみ エネルギーの変化を考えることにより、ひずみ発生 エネルギーと考えられる物理量によりき裂発生方向 の予測方法を提案している.

2. 線形弾性体における隅角部の応力特異性

線形無限弾性体中のパーフェクトシャープなグリ フィスき裂のようなき裂先端近傍の応力分布は次式 で表現することがでる。

$$\sigma_{y} = \frac{\sigma_{0}\sqrt{\pi a}}{\sqrt{2\pi r}} = \frac{K_{1}}{\sqrt{2\pi r}}$$
(1)

ここで、 σ_0 はき裂に垂直な無限遠方引張応力、aは き裂長さ、 K_I は応力拡大係数およびrはき裂先端か らの距離を表す.この式は-1/2のオーダーを持つと 表現される.き裂の場合は、応力特異性のオーダー はき裂長さや負荷応力によって変化しない.しかし ながら、図-1に示すような切欠きに対しては、開き



図-2 応力特異性のオーダーと開口角の関係

角 θ によって特異性が r^{n-1} に変化することが解析に より明らかにされている²⁾. 図-2にnと開き角 θ の関 係を示す.また,図-1における θ の代表的な例を図 -3に示す. θ =0°の場合はき裂を、 θ =90°の場合は 欠陥のないものを意味している.したがって、図-2 において、き裂の場合はn=0.5であるから-0.5のオ ーダーを持ち、また、 θ が 90°以上になるとnは1 となり特異性を持たなくなる.今回扱う隅角部は θ = 4 5°であるから、-0.45の特異性のオーダーを持 つ.これらのことから、隅角部のき裂進展方向の評 価は θ の角度が 0°~90°の間ではき裂が発生する. そのときのき裂の発生方向は周応力の位置で変化し ていく.そこで、微小き裂を発生させることによっ て



図-3 θの変化による代表的な形状



生じるひずみエネルギーの変化を考えることで、き 裂発生の予測を行うことを提案する.

3. 解析方法

構造物隅角部のき裂発生に対する数値解析の手順 は次のようなものである.

1)三角形定ひずみ要素を用いた有限要素解析を行う.
2)対象モデルと微小き裂を設定したモデルを考え,

それぞれのモデルの持つ弾性ひずみエネルギーを 求める.

- 3)それぞれの差を取り、与えた微小き裂長さで除し て、その微小き裂を与えるのに必要なエネルギーを き裂発生エネルギーとして定義する.
- 4)対象モデルにいろいろな微小き裂を設定し,き裂 発生エネルギーを求め,最も大きいところ,方向に 亀裂は発生するとする.

隅角部を有する解析モデルとして図-4に示す



図-5 モデルの要素分割



図-6 隅角部先端の要素分割

ような底部を固定し、上部に分布荷重が載荷される 躯体モデルを考える。これに対する要素分割を図-5 と図-6に示す.このモデルの総節点数と総要素数は 159および264であるが、微小き裂を進展させたモデ ルの節点数は1節点増えて、160となる.すなわち



図-6に示す要素番号253~264番までの要素間の11 方向に微少き裂(モデルの最小辺長の0.025倍)を発生 させる.

4. 解析結果

解析結果を図-7に示す. 縦軸は解析方法で示され た手順で得られたき裂発生エネルギーを示している が、ここでは、求められた最大のき裂発生エネルギ ーで除して無次元化している.また横軸は隅角部先 端から上方向を0度として反時計回りに角度をとっ たものである. 図中, 解析により得られた値は⊙で 示している. また実線は得られた値をスプライン近 似したものである. この図では約0.7πあたり、すな わち図-6の要素番号が259の要素に向かっていく 方向が最大値を示しており, エネルギー平衡の立場 から議論するとこの方向にき裂が発生すると予測さ れる. また 1.25 π あたり, すなわち図-6の要素番号 254の要素と255の要素の境界あたりに2番目のピー クを持ち,最大き裂発生エネルギーのほぼ 1/2 程度の 値を示している.したがって、材料非均質を問うよ うな場合はこの方向にもき裂が発生する可能性を有 する. また図-6の要素番号 253の要素と 254の要素 の境界あたり、および要素番号 263 の要素と 264 の 要素の境界あたりの値は非常に小さな値となってお り、この方向にき裂が発生する可能性は今回の境界 条件を持つモデルではないと結論付けることができ よう.

5. おわりに

本研究では、物体の持つエネルギー平衡の立場か ら、微小き裂発生前と後の物体のもつひずみエネル ギーの変化を考えることにより、ひずみ発生エネル ギーと考えられる物理量によりき裂発生方向の予測 方法を提案してきた.その結果、解析モデルは1モ デルに限ったが、明らかなき裂の発生方向を与える ことができた.ただし、これまでの解析では、隅角 部先端の節点のオーバーラップの解消を考慮してな いためオーバーラップが起きないモデルを扱った.

今後は隅角部先端の節点のオーバーラップを起 こすような場合,接触条件等を扱っていく必要があ る.また,周応力によるき裂の発生予測等も行い, その程度の差が生じるかを検討することも重要であ る.またアイソパラメトリック要素等の精度の高い 要素も導入して様々な構造物に応用していく予定で ある.

参考文系

- Erdogan, F. and Sih, G. C.:On the crack extension in plates under plane loading and transverse shear, ASTM, J. of Basic Engineering, Vol. 85, 1963, pp.519-527.
- Samuel N. K. and Frank C. K., Jr. : The Elastic Behavior in the Neighborhood of a Crack of Arbitrary Angle, Communication on Pure and Applied Mathematics, Vol. XV, pp.413-421, 1962