

き裂を有する帯板における FEM の解析精度

川村 壮司*¹

Analysis accuracy of FEM in strip with crack

Takashi KAWAMURA

This research reported on the analysis accuracy of the two FEM software with respect to analysis of strip with cracks using FEM. Crack length was analyzed on three kinds of strips. Stress Distribution near the Crack Tip end The opening displacement near the crack tip end was investigated. It is considered that there is almost no analysis error by FEM software.

KEYWORDS : FEM, Fracture Mechanics, Crack

1. はじめに

機械や構造物の破壊は、切欠きやき裂を起点として起きることがわかっている。破壊力学は100年以上研究されてきており、ナノ材料の実験なども行われ実験材料が変化してきている。また、最近では3Dプリンターのフィラメントの素材により材料強度を研究するものもある。そのため、金属材料以外の3D形状へのFEM解析技術の確立は必要なものと考えられる。

き裂を有する帯板の解析について二次元の平面応力状態で行うのが主流である。しかし、二次元モデルよりも三次元による立体的な試験片に忠実な材料モデルについて解析を行うことがき裂による破壊の予測には必要となってくる。

そこで、本研究では二次元モデルの切欠きを有する帯板の解析ではFEMの誤差はないことがわかっているため、き裂を有する帯板についてFEMソ

フトによる誤差を調べて、三次元への解析に活かす。また、二次元モデルの弾塑性解析も三次元モデルへと移行するために必要なデータとなる。

2. 線形き裂力学の原理

図1は、線形き裂力学の概念を模式的に示したものである。

線形き裂力学について図1を用いて二次元問題のモードI型き裂材を例にとり説明する。以下、き裂先端を原点とする。

線形き裂力学は、試験片(1)と実物(2)において、応力拡大係数 K_I が両者で等しいとき、き裂先端付近の弾性応力場が等しくなり、さらにレスポンスの等価性により弾塑性応力場も等しくなり、したがって試験片と実物で同一現象が生じることを保証するものである。すなわち、線形き裂力学は応力拡大係数 K_I を厳しさの尺度とするものである。

*1 機械工学科(Dept. of Mechanical Engineering), E-mail: t-kawamura@oyama-ct.ac.jp

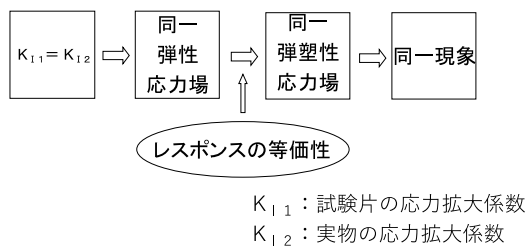


図1 線形き裂力学の原理

3. 解析

3.1 解析形状

解析対象の試験片形状は解析精度を比較するため板幅を一定にしてき裂長さを変化させた。これにより、き裂長さだけを考慮すればよいデータが得られる。線形き裂力学を利用して破壊の予測を行う場合、板幅や形状についても考慮して解析する必要があるためである。

図2は、解析した試験片形状の寸法を示している。板幅 W を 30mm とし、板長を L とし、板幅 W の3倍とした。き裂長さは $a=3\text{mm}$ 、 $a=6\text{mm}$ 、 $a=18\text{mm}$ とした。FEMの解析精度を検証するため、き裂長さ $a=6\text{mm}$ を基準とした。

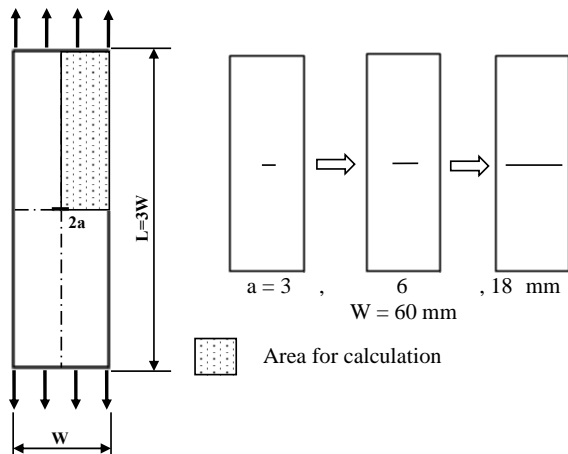


図2 解析形状と寸法

3.2 要素分割

図3は、解析に使用したFEMの要素分割を示している。この要素分割は、FEM解析ソフトの誤差を検討するためにオート機能を使用せず作成した。形状全体の比較を容易にするためである。

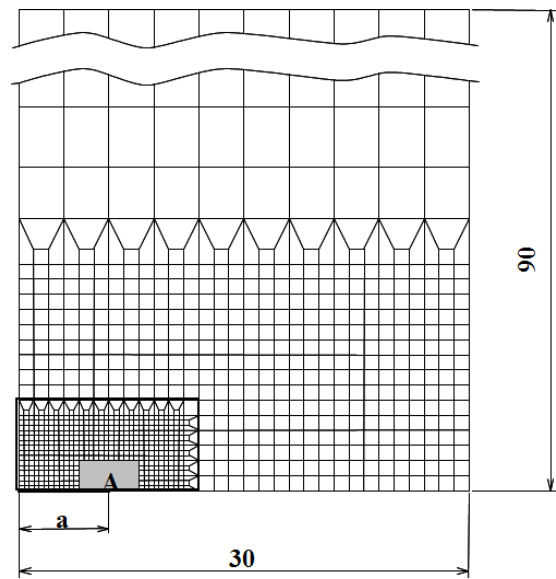


図3 要素分割 (全体)

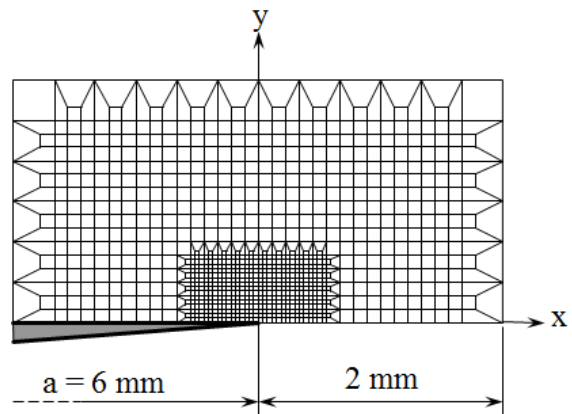


図4 要素分割 (A部詳細)

図4は、解析に使用したFEMの要素分割のコアにした要素分割部分であるA部を示している。き裂先端近傍の要素分割に関しては、2つの解析ソフト自体の誤差を抑えるため同じ形状を用いた。これにより、理論的には無限大になる値が有限な値で得られるため、その影響を把握するため同じ要素分割形状とした。

4. 解析結果

解析結果は、FEMの解析精度を検証するため、主にき裂長さ $a=6\text{mm}$ について、き裂先端近傍の応力分布とき裂先端近傍の開口変位を比較した。

4. 1 応力分布

き裂長さ $a=6\text{mm}$ について、解析を行い3次元解析を行いたい ANSYS と従来まで使用していた MARC について比較検証をした。なお、き裂を有する帯板の FEM による解析では、き裂先端の値は理論的には無限大であるが有限な値で得られる。よって、き裂先端近傍の応力分布を取り扱うには注意する必要がある。

図5は、縦軸に応力、横軸にき裂先端からの距離をとった、き裂先端近傍の応力分布を示している。これより、き裂先端の応力値は有限な値で得られているため参考にはできないがき裂先端から離れるにつれ2つの応力分布はよく似ている。

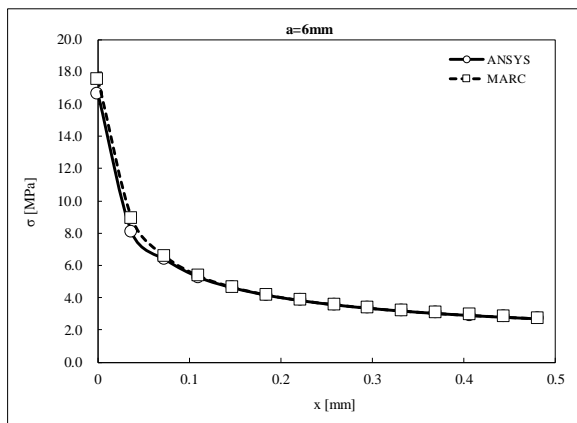


図5 き裂先端近傍の応力分布 ($a=6\text{mm}$)

表1は、図5のデータを比較し誤差を調べたものである。2つの応力分布の誤差は、き裂先端近傍の数値の誤差が大きいがその後誤差は小さくなっていく。本来、無限大で得られるべき値が有限な値で得られているため、き裂先端近傍の誤差が原因になっていることが考えられる。

FEM 解析によるき裂の破壊の予測には、き裂先端の応力を使用しない応力外挿法や変位外挿法や接続外挿法がありき裂先端の影響を抑えた予測方法が存在する。

表1 応力分布の誤差 ($a=6\text{mm}$)

| | ANSYS | MARC | |
|--------|------------------|------------------|-------|
| x[mm] | σ_y [MPa] | σ_y [MPa] | 誤差[%] |
| 0.0000 | 16.585 | 17.500 | -5.23 |
| 0.0370 | 8.018 | 8.900 | -9.92 |
| 0.0741 | 6.344 | 6.540 | -3.00 |
| 0.1111 | 5.244 | 5.320 | -1.44 |
| 0.1482 | 4.602 | 4.630 | -0.60 |
| 0.1852 | 4.150 | 4.160 | -0.25 |
| 0.2223 | 3.816 | 3.820 | -0.12 |
| 0.2593 | 3.555 | 3.560 | -0.14 |
| 0.2964 | 3.345 | 3.350 | -0.16 |
| 0.3334 | 3.171 | 3.170 | 0.03 |
| 0.3705 | 3.024 | 3.020 | 0.14 |
| 0.4075 | 2.898 | 2.900 | -0.06 |
| 0.4446 | 2.789 | 2.790 | -0.05 |
| 0.4816 | 2.693 | 2.690 | 0.12 |

4. 2 開口変位

き裂長さ $a=6\text{mm}$ について、ANSYS と従来まで使用していた MARC について比較検証をした。図6は、縦軸に開口変位、横軸にき裂先端からの距離をとった、き裂先端近傍の開口変位を示している。これより、き裂先端近傍の2つの開口変位はよく似ている。

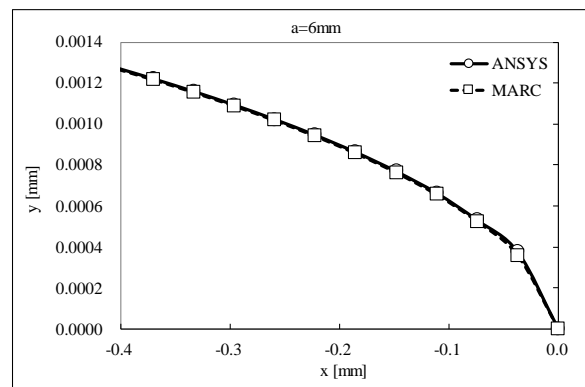


図6 き裂先端近傍の開口変位 ($a=6\text{mm}$)

表2は、図6のデータを比較し誤差を調べたものである。2つの開口変位の誤差は、き裂先端近傍の数値の誤差が大きいがその後誤差は小さくなっていく。なお、第一節点の値がき裂全体の開口形状を規定するため誤差が小さければ小さいほどよい。

表2 開口変位の誤差 (a=6mm)

| x[mm] | ANSYS[mm] | MARC [mm] | 誤差 [%] |
|---------|-----------|-----------|--------|
| 0.0000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.00 |
| -0.0370 | 0.000375 | 0.000358 | 4.69 |
| -0.0741 | 0.000530 | 0.000524 | 1.22 |
| -0.1111 | 0.000662 | 0.000656 | 1.06 |
| -0.1481 | 0.000768 | 0.000763 | 0.71 |
| -0.1852 | 0.000862 | 0.000857 | 0.57 |
| -0.2222 | 0.000946 | 0.000941 | 0.48 |
| -0.2593 | 0.001022 | 0.001018 | 0.41 |
| -0.2963 | 0.001093 | 0.001089 | 0.37 |
| -0.3333 | 0.001159 | 0.001155 | 0.34 |
| -0.3704 | 0.001221 | 0.001217 | 0.30 |
| -0.4074 | 0.001279 | 0.001276 | 0.29 |

表3 開口変位の誤差 (a=3mm)

| x[mm] | ANSYS[mm] | MARC [mm] | 誤差 [%] |
|---------|-----------|-----------|--------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| -0.0370 | 0.000374 | 0.000357 | 4.75 |
| -0.0741 | 0.000528 | 0.000522 | 1.22 |
| -0.1111 | 0.000659 | 0.000652 | 1.05 |
| -0.1481 | 0.000763 | 0.000758 | 0.67 |
| -0.1852 | 0.000855 | 0.000850 | 0.55 |
| -0.2222 | 0.000936 | 0.000932 | 0.43 |
| -0.2593 | 0.001010 | 0.001006 | 0.41 |
| -0.2963 | 0.001078 | 0.001074 | 0.38 |
| -0.3333 | 0.001141 | 0.001138 | 0.29 |
| -0.3704 | 0.001200 | 0.001197 | 0.28 |
| -0.4074 | 0.001256 | 0.001253 | 0.22 |

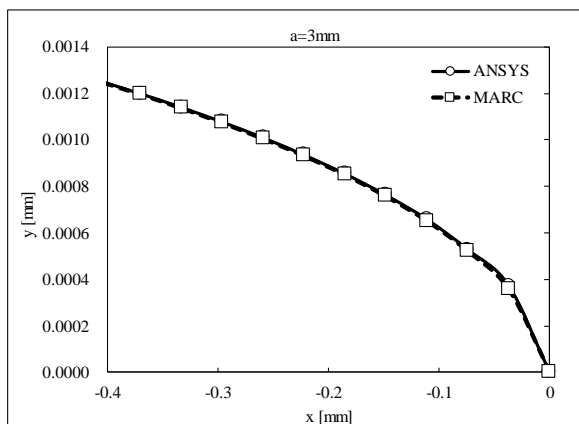


図7 き裂先端近傍の開口変位 (a=3mm)

図7と図8は、図6と同様な結果を得られている。すなわち、き裂先端近傍の開口変位は、き裂

長さが変わっても解析精度には影響を与えないことが判明した。

表3と表4は、表2と同様な結果を得られている。すなわち、き裂先端近傍の開口変位は、き裂長さが変わっても誤差の影響が一定範囲であり解析精度に影響を与えないことが判明した。

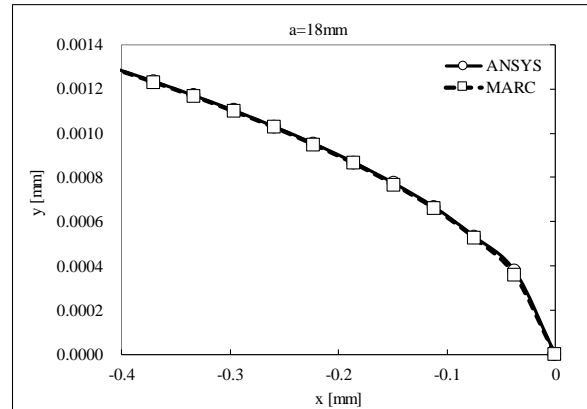


図8 き裂先端近傍の開口変位 (a=18mm)

表4 開口変位の誤差 (a=18mm)

| x[mm] | ANSYS[mm] | MARC [mm] | 誤差 [%] |
|---------|-----------|-----------|--------|
| 0.0000 | 0 | 0 | 0 |
| -0.0370 | 0.000375 | 0.000358 | 4.77 |
| -0.0741 | 0.000531 | 0.000525 | 1.21 |
| -0.1111 | 0.000664 | 0.000658 | 0.96 |
| -0.1481 | 0.000771 | 0.000766 | 0.71 |
| -0.1852 | 0.000866 | 0.000862 | 0.50 |
| -0.2222 | 0.000951 | 0.000947 | 0.46 |
| -0.2593 | 0.001029 | 0.001026 | 0.32 |
| -0.2963 | 0.001102 | 0.001098 | 0.33 |
| -0.3333 | 0.001169 | 0.001166 | 0.28 |
| -0.3704 | 0.001233 | 0.001230 | 0.26 |
| -0.4074 | 0.001294 | 0.001291 | 0.21 |

5. まとめ

き裂を有する帯板の解析で2つの解析ソフトによる誤差はほとんどなく今回の知見を含めてもう少し必要な条件について解析を行うことで、三次元解析の解析精度の検証を行う事ができることが得られた。

【受理年月日 2018年 9月14日】