

FEM ソフト ANSYS による線形切欠き力学の精度

川村 壮司*¹

Precision of the linear notch mechanics by FEM software ANSYS.

Takashi KAWAMURA

This paper is checked the element division when a notch is very small and applied Linear Notch Mechanics. The shape that I analyzed is eight kinds in central notch and outer notch. The result that a way of the element division was important to Linear Notch Mechanics. It is necessary to do distance of the element division finely to give analysis precision. Particularly, I am careful about a shape of the notch when I use FEM.

KEYWORDS: Liner Notch Mechanics, FEM, BFM

1. はじめに

切欠きを有する材料の破壊の予測については、き裂のように応力拡大係数のみで評価できない。西谷らは切欠き半径が関係していることに着目し、線形切欠き力学を提案した。線形切欠き力学は、切欠き材の試験片から実物の破壊の予測を行うことができる強度評価手法である。線形切欠き力学を扱った論文の多くは MSC 社 MARC/MENTAT を利用している。よって、他の FEM ソフトを用いて解析した事例を少ない。

そこで本研究は、サイバネット社 ANSYS を用いて、切欠きが非常に小さい状態の FEM の解析精度について検証した。また、切欠きが非常に小さい状態に線形切欠き力学を適用し、その有用性を中央に切欠きを有する帯板と両側に切欠きを有する

帯板について検証した。切欠きが非常に小さい形状の解析は、今後の小さな穴を有する材料の解析にも利用できる。なお、厳密解については、体積力法(BFM)を用いている。

2. 線形き裂力学の原理

ここでは、線形切欠き力学の概念について切欠き材を例にとりて説明する。以下、切欠き底を原点とする。

図 1 は、線形切欠き力学の概念を模式的に表したものである。

線形切欠き力学は、試験片と実物において、切欠き半径 ρ と最大応力 σ_{\max} が両者で等しいとき、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、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

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

る。すなわち、線形切欠き力学は切欠き半径 ρ と 最大応力 σ_{max} を厳しさの尺度とするものである。

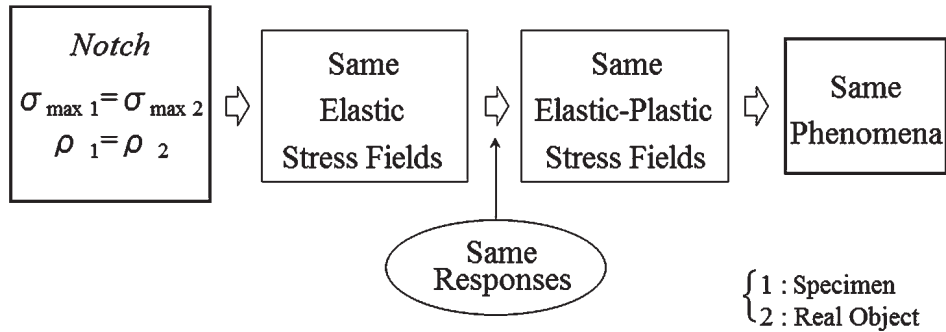


図1 線形き裂力学の原理

3. 解析形状および解析条件

図2は、FEM解析で平面応力条件下に用いた、中央に切欠きを有する帯板の形状を示している。なお、両側に切欠きを有する帯板についても境界条件の違いで対応できるので計算を行った。計算対象領域は図3に示すとおりで、両側切欠きにおいても同様の1/4を計算対象領域とした。表1は、計算した形状をまとめたものである。中央切欠きで4種類、両側切欠きで4種類の改正を行った。図4は、FEM解析で用いた解析形状に対する切欠き近傍の要素分割を示している。中央切欠きと両側切欠きのどちらにも使用した。

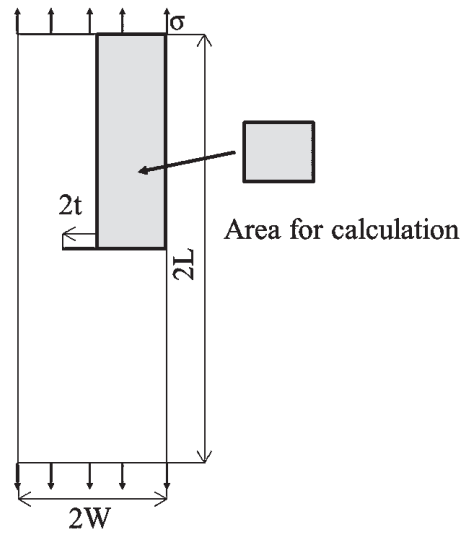


図3 計算対象領域

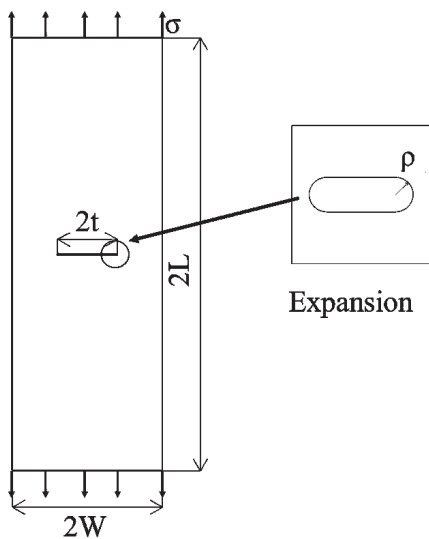


図2 計算形状

表1 計算形状の寸法

	$\lambda=a/W$	t[mm]	ρ [mm]	W[mm]	L[mm]
中央切欠き材	0.2	2.0	0.1	10.0	30.0
	0.4	4.0	0.1	10.0	30.0
	0.6	6.0	0.1	10.0	30.0
	0.8	8.0	0.1	10.0	30.0
両側切欠き材	0.2	2.0	0.1	10.0	30.0
	0.4	4.0	0.1	10.0	30.0
	0.6	6.0	0.1	10.0	30.0
	0.8	8.0	0.1	10.0	30.0

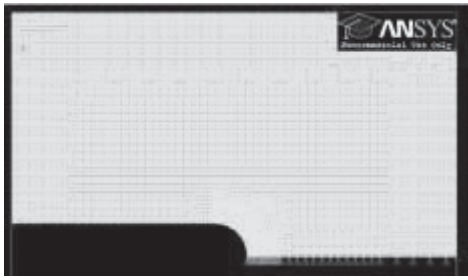


図4 切欠き先端近傍の要素分割

4. 非常に小さい切欠きの解析誤差

厳密解は体積法によるものを用いており計算値が6桁まで収束した値を用いている。また、応力分布についても体積法により求めた。

図5は、切欠き周辺の形状が $t=2\text{mm}$ のときのFEM解析による切欠き材の計算値そのままの応力分布と厳密解との誤差を示している。縦軸にFEM解析

から得られて応力そのままの値、横軸に切欠き先端からの距離をとっている。まず、中央切欠きを有する帯板の解析結果では、切欠き先端の値では、厳密解との誤差が0.5%である。その次の節点では0.4%、その次は0.3%、0.3%、0.2%と徐々に応力分布の傾斜がなだらかになるについて切欠きの影響も少なくなり誤差は減る傾向にある。また、両側に切欠きを有する帯板でも、切欠き先端の値では、厳密解との誤差が0.5%である。その次の節点では0.4%、その次は0.3%、0.3%、0.2%と徐々に応力分布の傾斜がなだらかになるについて切欠きの影響も少なくなり誤差は減る傾向にある。これよりわかるように、今回用いた要素分割では、厳密解との誤差は、最大でも0.5%となり、十分解析に使用できることがわかる。なお、要素分割は細かくすればするほど厳密解に近づくことがわかっている。しかし、今回のように、切欠き半径が0.1mmと非常に小さいときは、要素分割が困難となる。

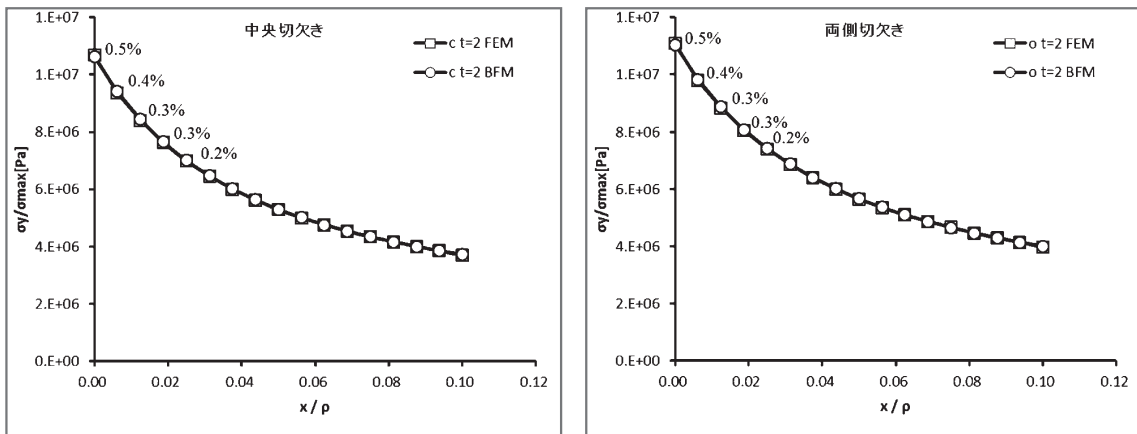


図5 FEM解析による切欠き材の計算値そのままの応力分布と厳密解との誤差

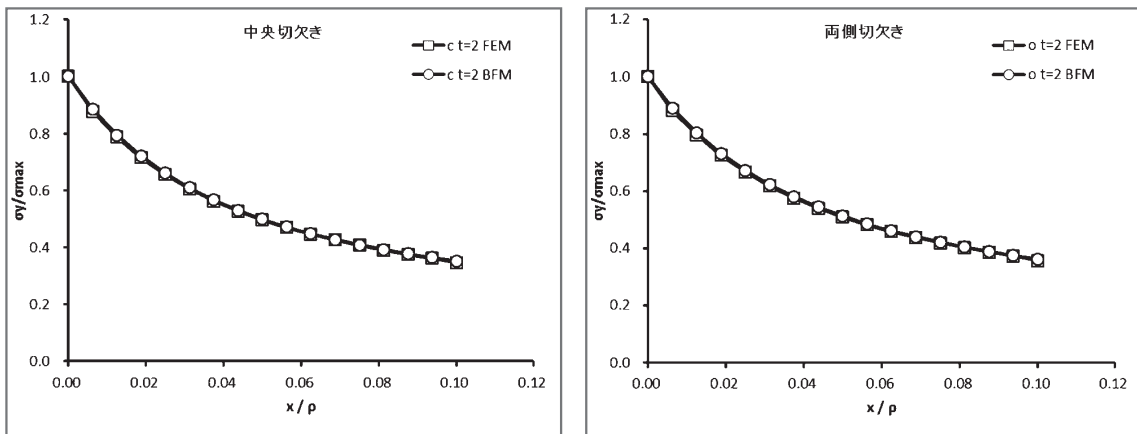


図6 線形切欠き力学に基づいた応力分布と厳密解との誤差

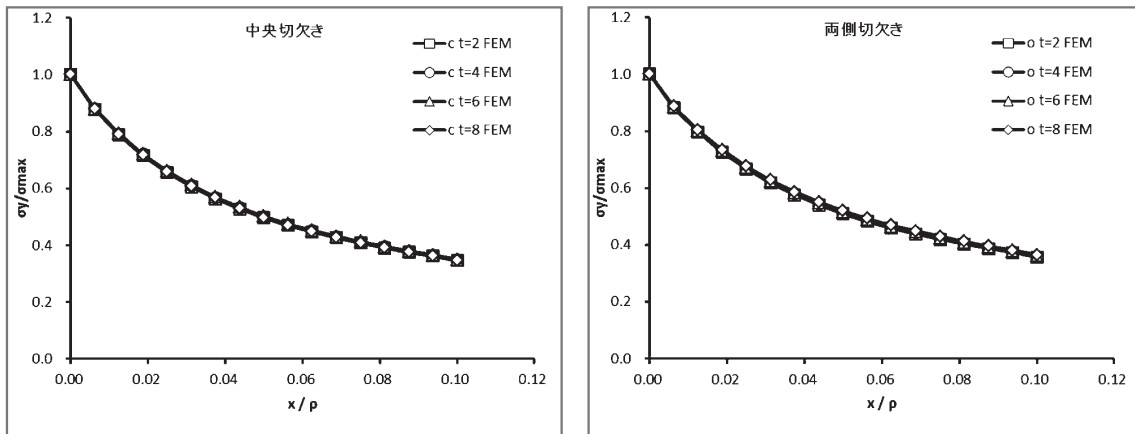


図7 線形切欠き力学に基づいた応力分布と形状変化による傾向

表2 FEM解析値と厳密解との誤差のまとめ

	$\lambda=a/W$	BFM[MPa]	FEM[MPa]	FEMの相対誤差[%]
中央切欠き材	0.2	10.618	10.673	0.519
	0.4	15.911	15.997	0.541
	0.6	22.797	22.920	0.541
	0.8	37.156	37.351	0.526
両側切欠き材	0.2	11.036	11.098	0.561
	0.4	15.665	15.755	0.572
	0.6	20.797	20.918	0.581
	0.8	30.384	30.564	0.594

図6は、切欠き周辺の形状が $t=2\text{mm}$ のときの線形切欠き力学に基づいた応力分布と厳密解との誤差を示している。縦軸に無次元化応力、横軸に切欠き先端からの距離をとっている。まず、中央切欠きを有する帯板の解析結果を線形切欠き力学に基づいてまとめると、切欠き先端から応力分布は、全体を通して厳密解と一致している。

図7は、切欠き周辺の形状が $t=2\text{mm}\sim t=8\text{mm}$ までのときの線形切欠き力学に基づいた応力分布を示している。縦軸に無次元化応力、横軸に切欠き先端からの距離をとっている。まず、中央切欠きを有する帯板の解析結果を線形切欠き力学に基づいてまとめると、 $t=2\text{mm}\sim t=8\text{mm}$ までは切欠き先端から応力分布は、全体を通して形状の変化があっても一致している。また、両側切欠きを有する帯板についても $t=2\text{mm}\sim t=8\text{mm}$ までは切欠き先端から応力分布は、全体を通して形状の変化があっても一致している。これは、FEM ソフトを用いて破壊の予測が可能であることを示している。

表2は、切欠き周辺の形状が $t=2\text{mm}\sim t=8\text{mm}$ まで

のFEM解析値と厳密解との誤差をまとめたものである。これらの結果から、FEMによる要素分割は、要素分割 $1/9\text{mm}$ 以下にすることはできないことがわかった。ただし、要素分割数を増やせば解析時間が増えることを考えておく必要がある。

5. 今後の課題

切欠き半径が非常に小さい切欠きを有する帯板について、FEMソフトの解析精度について調べた。ANSYSは、切欠きが非常に小さいときでも解析精度が0.5%程度であることがわかった。これを利用して、形状が小さな穴をもつものの解析もできることがわかった。また、今後の有限要素法の解析では、オートメッシュでも解析精度を保てるかなどの検証が必要になってくる。

【受理年月日 2015年 9月30日】