

線形切欠き力学の応用に関する研究

川村 壮司*1

A study about the application of Linear Notch Mechanics

Takashi KAWAMURA

This paper is the result that applied Linear Notch Mechanics when a notch is very small. In addition, I examined the simple and easy method of the element division of finite element method.

KEYWORDS: Liner Notch Mechanics, FEM, BFM

1. はじめに

材料の破壊の予測を行うには、き裂や切欠きの挙動の予測が必要である。き裂においては線形破壊力学が有効であることが十分実証されている。しかし、線形破壊力学は主にき裂の破壊について主であり、切欠きの予測については、き裂のように応力拡大係数のみで評価できないことから破壊の予測を確立するまでに時間がかかった。線形切欠き力学は、西谷によって提案された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。

そこで本研究は、線形切欠き力学を切欠きが非常に小さい状態に適用し、その有用性を検証する。なお、有限要素法による要素分割の簡便方法についても検討する。

2. 線形切欠き力学の原理

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って説明する。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。

LNM は、試験片と実物において、切欠き半径 ρ と最大応力 $\sigma_{\max}$ 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る。すなわち、線形切欠き力学は切欠き半径 ρ と最大応力 $\sigma_{\max}$ を厳しさの尺度とするものである。

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

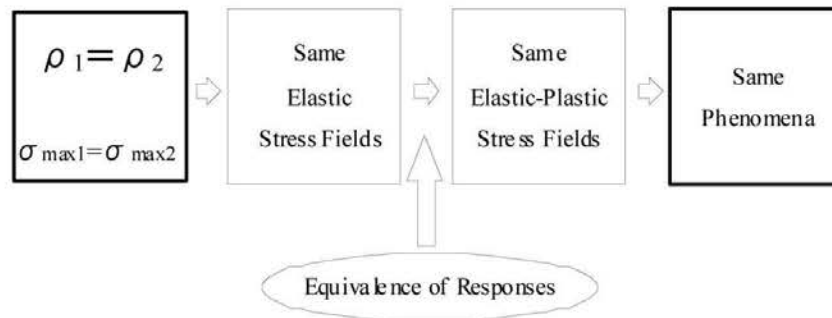


図1 線形切欠き力学の原理 [1 : 試験片 , 2 : 実物].

3. 解析形状および解析条件

図2は本解析に用いた試験片形状を示している。ヤング率 70.6GPa, ポアソン比 0.33, 縦 $2L=60\text{mm}$, 幅 $2W=20\text{mm}$, 切欠き半径 $\rho=0.1\text{mm}$, 切欠き長さ $2t$ である。解析は, 引張り荷重 1MPa が加えられた 5 つの帯板において, 切欠き長さを $t=2, 4, 6, 8, 9\text{mm}$ と変化させて解析を行う。なお, 解析は, 中央切り欠き材と両側切欠き材について行った。

図3は, 切欠き底近傍の拡大図である。

図4は, 上図(a)がFEM解析において円孔要素を正確に表現した要素分割の例であり, 下図(b)がFEM解析において円孔要素を四角形要素近似したときの概略図である。なお, 切欠き半径が非常に小さい。

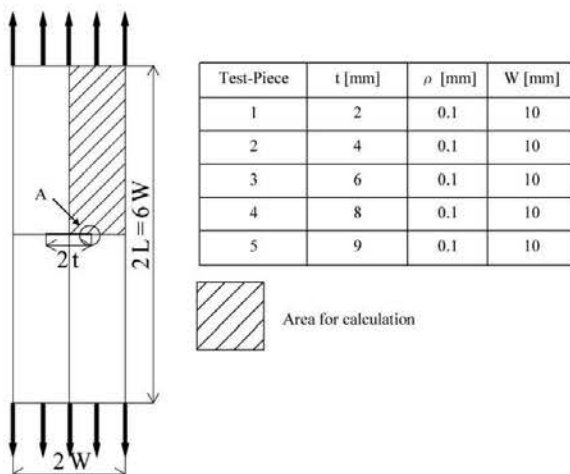


図2 解析対象 (中央切欠きの例)

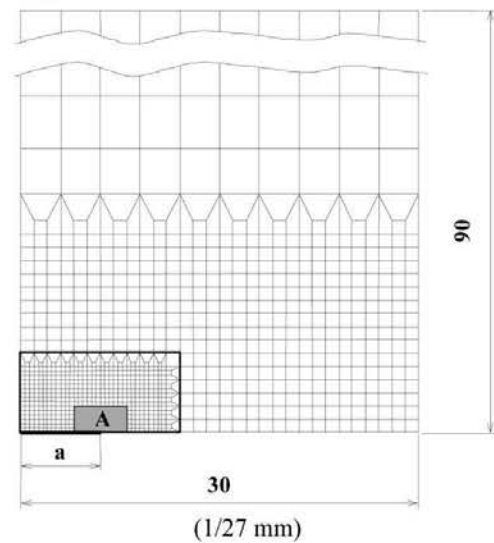
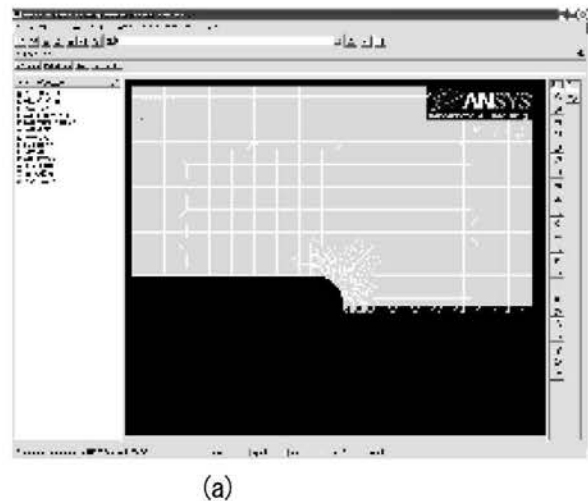
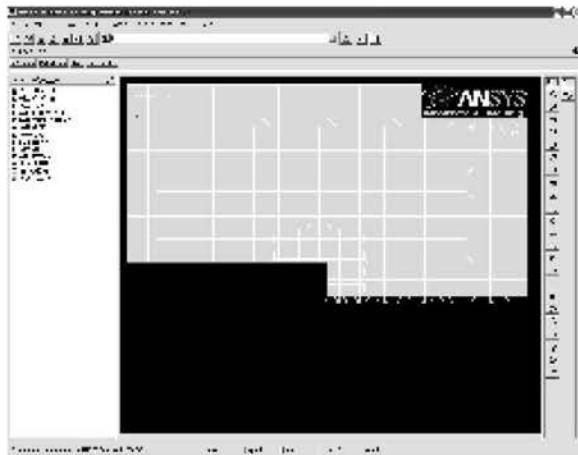


図3 FEM要素分割(中央切欠きの例)



(a)



(b)

図4 図3のA拡大

4. 切欠きが非常に小さい場合の線形切欠き力学の成立

ここでは、切欠きが非常に小さい場合にも線形切欠き力学に基づいてFEM解析におこなえば破壊の予測が可能であることを示す。

図5は、切欠き材の厳密解をBFMによる解析によって得られた切欠き底の真の応力分布である。これより、線形切欠き力学に基づいて切欠き底の応力分布を整理すると、その応力分布は形状によらず一致する。このことは、

図6は、切欠き材の応力分布をFEMによる解析によって得られたものである。これより、線形切欠き力学に基づいて切欠き底の応力分布を整理すると、その応力分布は形状によらず一致する。

図7は、厳密解とFEM解析によって得られた切欠き底の応力分布の誤差をみたものである。これより、厳密解とFEM解析の誤差は1%以下と精度がよく、線形切欠き力学は切欠きが非常に小さい場

合においても有効であることが確認された。

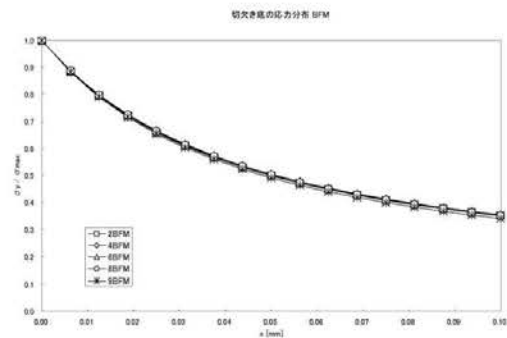


図5 切欠き底の応力分布（厳密解・BFM）

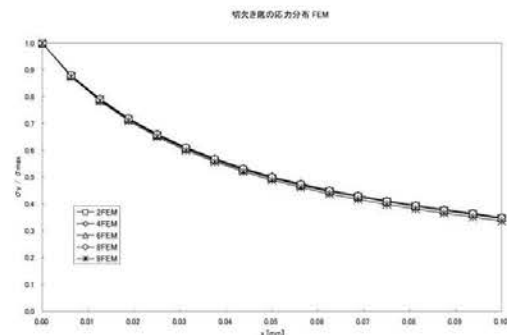


図6 切欠き底の応力分布（FEM）

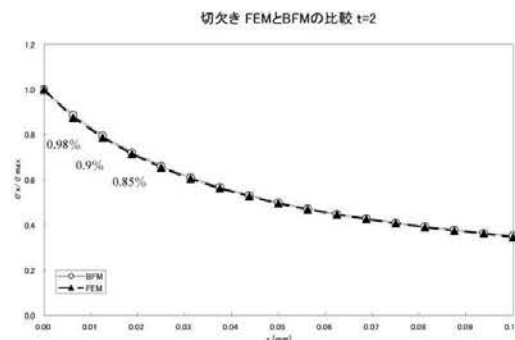


図7 FEMと厳密解（BFM）との誤差

表1 FEMによる非常に小さい切欠きの解析誤差

$\lambda = a/W$	中央切欠き(円孔を表現した要素)			両側切欠き(円孔を表現した要素)		
	FEM	BFM	誤差 (%)	FEM	BFM	誤差 (%)
0.2	10.6730	10.6179	0.52	11.0980	11.0361	0.56
0.4	15.9970	15.9110	0.54	15.7550	15.6654	0.57
0.6	22.9200	22.7966	0.54	20.9180	20.7972	0.58
0.8	37.3510	37.1555	0.53	30.5640	30.3836	0.59
0.9	57.9480	57.6624	0.50	43.5120	43.2544	0.60

表2 FEMの解析における要素分割を簡便にしたときの誤差

$\lambda=a/W$	中央切欠き(四角形で近似)			両側切欠き(四角形で近似)		
	FEM	BFM	誤差(%)	FEM	BFM	誤差(%)
0.2	5.1900	5.0952	1.86	5.2204	5.1237	1.89
0.4	7.6558	7.4696	2.49	7.3194	7.1593	2.24
0.6	10.9300	10.6203	2.92	9.6535	9.4136	2.55
0.8	18.0080	17.4662	3.10	14.0130	13.6229	2.86
0.9	28.6540	27.8420	2.92	19.8840	19.3012	3.02

5. 切欠きにおける FEM の簡便要素分割

ここでは、切欠きが非常に小さい場合において FEM 解析を行う場合、要素分割が極めて困難になる。そこで FEM 解析における要素分割で線形切欠き力学に基づいて要素分割することをすれば、試験片から実物の予測が可能になることを示す。

図 8 は、FEM の要素分割を簡便にすることができるとの根拠を示している。これからわかるように、切欠きにおける円孔を正確に表現するときと四角形で近似するときでは、全体の力の流れがかわらないことが予測できる。今回はこれを根拠に近似可能を検証する。

図 9 は、FEM 解析における要素分割で円孔を正確に表現したときの応力分布と四角形で近似したときの応力分布を示している。これよりわかるように、両者の応力分布は違う。

しかし、図 10 (中央切欠き材の応力分布) と図 11 (両側切欠き材の応力分布) をみればわかるように、円孔を正確に表現した真の応力分布とは違う応力分布になっていても線形切欠き力学に基づけば、試験片から実物の予測が可能になる。

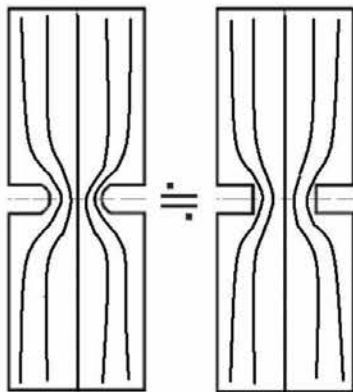


Fig. 8 FEM 要素分割の近似根拠

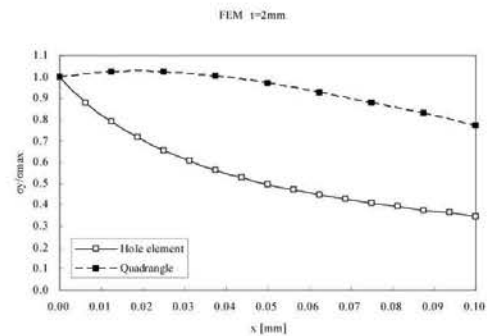


Fig. 9 FEM における要素分割を簡便にしたときの応力分布の違い

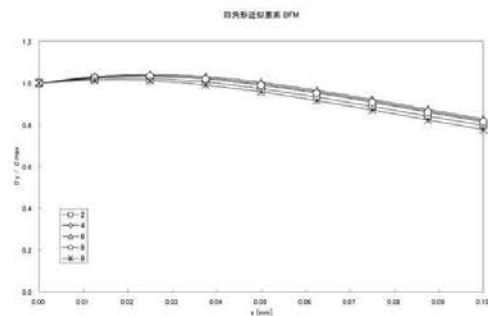


図 10 中央切欠き材の応力分布

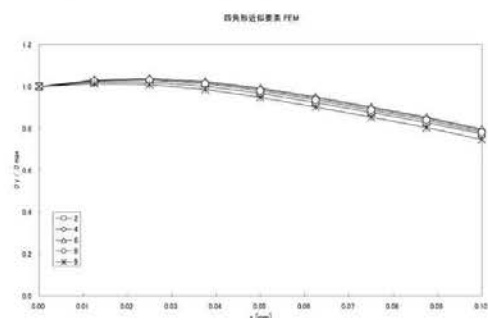


図 11 両側切欠き材の応力分布

6. おわりに

線形切欠き力学を切欠きが非常に小さい状態に適用し、その有用性を検証した結果、有用であることがわかった。

[受理年月日 2010 年 9 月 30 日]