

非線形き裂力学による平面応力条件下と 平面ひずみ条件下の比較

川村 壮司*1

Comparison between Plane stress condition and Plane strain condition
based on Non-Linear Crack Mechanics

Takashi KAWAMURA

This paper is the result that applied Non-Linear Crack Mechanics when Plane stress condition and Plane strain condition. It is different from crack opening displacement about Plane stress condition in Plane strain condition.

KEYWORDS: Non-Linear Crack Mechanics, FEM

1. はじめに

材料の破壊の予測には、き裂において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、線形破壊力学は小規模降伏条件下においてのみ有効で大規模降伏条件下においては十分有効な結果を残していないようである。そこで、西谷は非線形き裂力学を提案し、その有効性を検証している。

そこで本研究は、FEM 解析において三次元形状の予測を行うために必要な平面応力条件下と平面ひずみ条件下でのき裂の開口形状の違いについて調べた。

2. 非線形き裂力学の原理

非線形き裂力学は、FEM 解析により得られた解を利用して、試験片の強さから実物の強さを予測するものである。

図1は、非線形き裂力学と線形き裂力学の概念を模式的に示したものである。

非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。

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

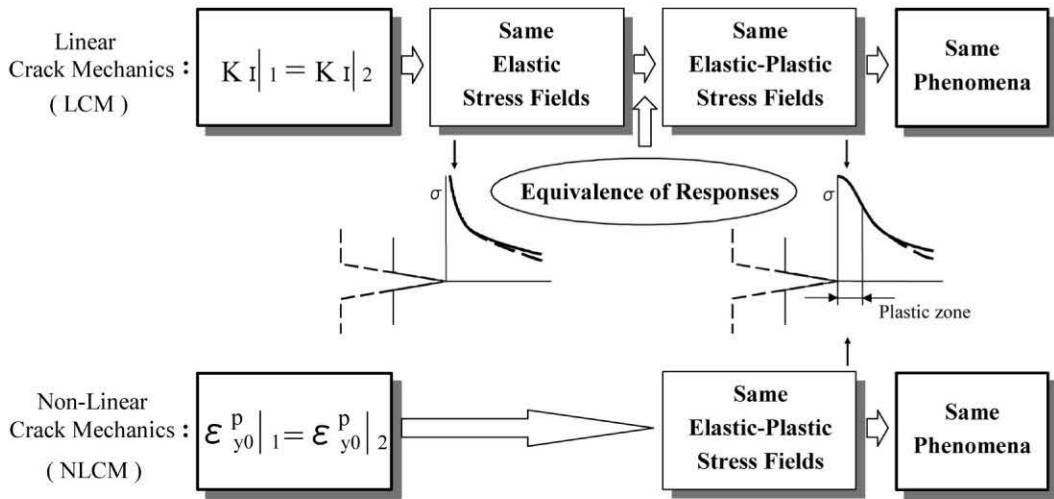


図1 線形き裂力学と非線形き裂力学の原理 [1 : 試験片 , 2 : 実物] .

試験片(1)と実物(2)において、FEM解析で求められるき裂先端第ゼロ節点のy方向の塑性ひずみ値 ϵ_{py0} が両者で等しいとき、弾塑性応力場が等しくなり、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、非線形き裂力学は ϵ_{py0} を厳しさの尺度とするものである。

一方、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。

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と平面ひずみ条件下に用いた、中央にき裂を有する帯板の形状と寸法を示している。また、寸法は図2に示すとおりである。なお、弾性解析および弾塑性解析の両方に用いた。

図3は、FEM解析で用いた解析形状に対する要素分割を示している。なお、計算対象領域は対称性を考慮して図2の細線を施した1/4の部分に該当している。これも、弾性解析および弾塑性解析の

両方に用いた。

図4は、図3におけるAの部分の詳細について示したものである。

非線形き裂力学の解析では、以下の条件を用いた。

解析条件について述べる。加工硬化特性としては、線形硬化則に基づく真応力-対数塑性ひずみ線図(図5)を用いた。本解析で用いた応力-ひずみ関係に関する定数は、降伏応力 $\sigma_Y=358\text{MPa}$ 、ヤング率 $E=70.6\text{GPa}$ 、 $H=d\sigma/d\epsilon=1.24\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.33$ である。非線形方程式の解法はニュートン・ラプソン法による増分法を用い、大変形の定式化ではアップデート・ラグランジェ法を用いた。

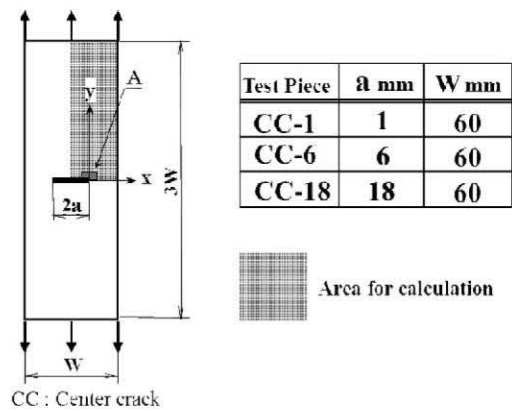


図2 解析対象

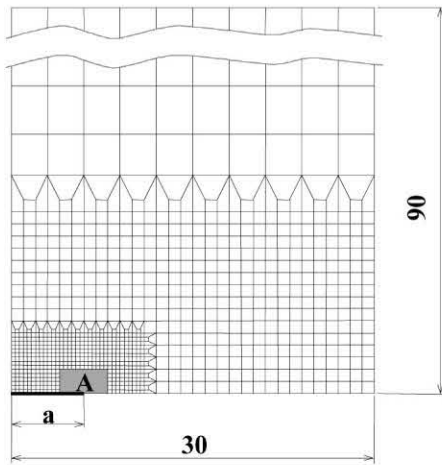


図3 FEM 要素分割

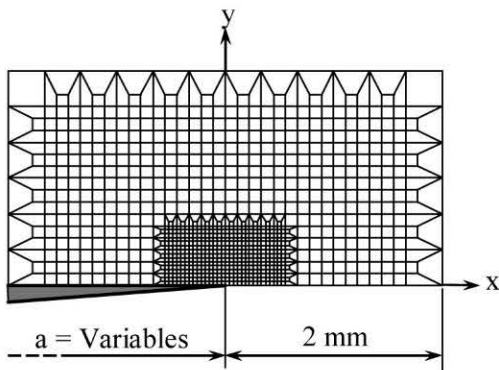


図4 A 拡大

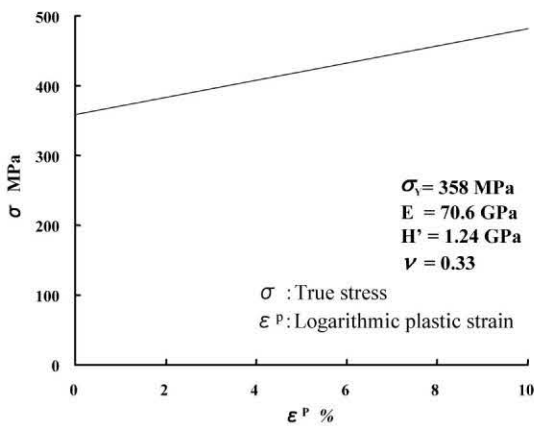


図5 真応力-対数ひずみ線図

4. き裂開口変位

ここでは、非線形き裂力学の解析に基づいて、平面応力条件下と平面ひずみ条件下において得られる結果について検討する。平面応力条件下と平面ひずみ条件下で得られるき裂開口形状の状態について比較する。

図6は、非線形き裂力学を平面応力条件下において適用し得られた塑性ひずみ分布である。これより、非線形き裂力学の厳しさの尺度である ϵ_{y0}^p を一定で得られた塑性ひずみ分布は、き裂長さに関係なくよく一致する。すなわち、平面応力条件下において、非線形き裂力学 ϵ_{y0}^p は有用であることを示している。

図7は、非線形き裂力学を平面ひずみ条件下において適用し得られた塑性ひずみ分布である。これより、非線形き裂力学の厳しさの尺度である ϵ_{y0}^p を一定で得られた塑性ひずみ分布は、き裂長さに関係なくよく一致する。すなわち、平面ひずみ条件下において、非線形き裂力学 ϵ_{y0}^p は有用であることを示している。

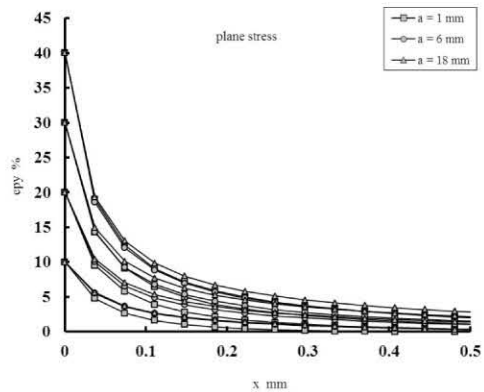


図6 平面応力条件下での塑性ひずみ分布

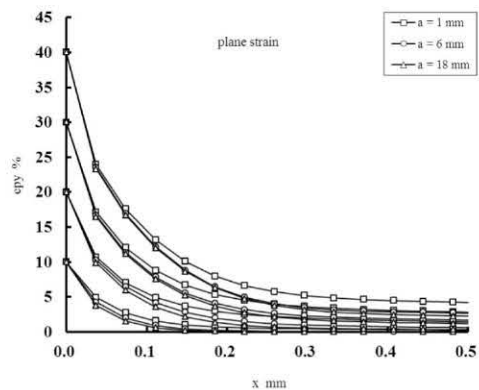


図7 平面ひずみ条件下での塑性ひずみ分布

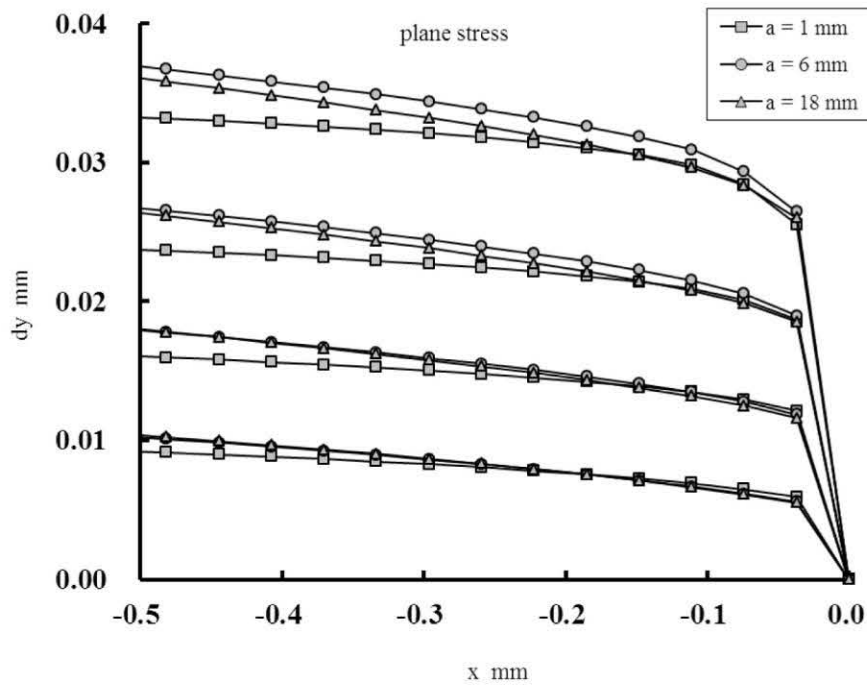


図8 平面応力条件のき裂開口形状

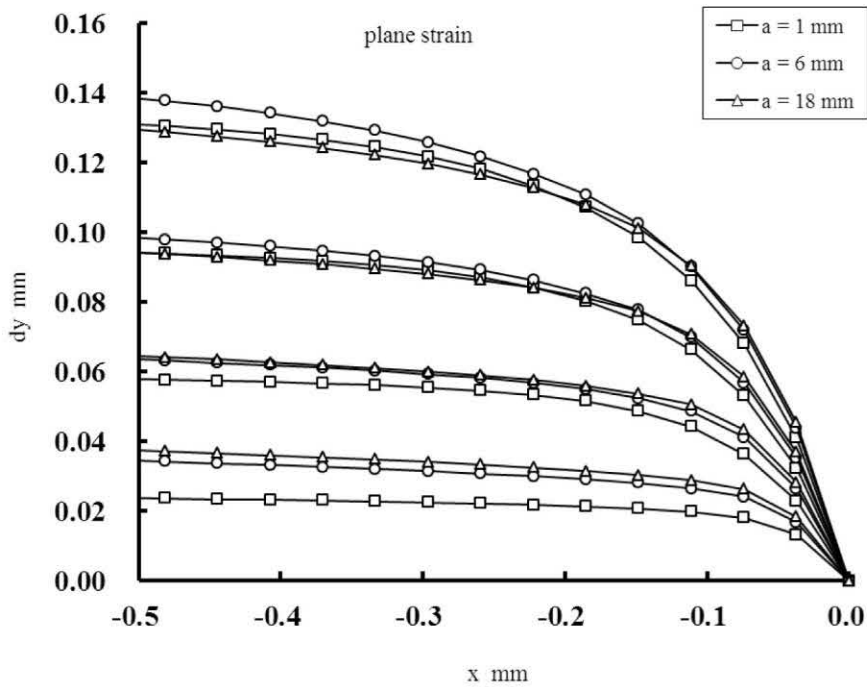


図9 平面ひずみ条件のき裂開口形状

5. おわりに

本研究では、非線形き裂力学を平面応力条件下と平面ひずみ条件下において適用し、き裂開口形

状について調べた結果、面応力条件下と平面ひずみ条件下では、き裂開口形状が違うことが分かった。なお、両条件下でも非線形き裂力学は成立する。

【受理年月日 2011年 9月30日】