

組合せ応力問題に対する第ゼロ節点法の適用

Application of crack tip stress method to combined stress problems

川村 壮司

Takashi KAWAMURA

1. はじめに

第ゼロ節点法は、FEMを用いた応力拡大係数を求める手法として、有用な手法である。しかし、組合せ応力問題に適用し、リガメントの影響などについて、検討したものはない。

そこで本論文は、組合せ応力問題に対して第ゼロ節点法を適用し検討した。

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。

図2(a)は、FEM解析で平面応力条件下に用いた、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(a)に示すとおりであるが、板幅を変化させている。また、図2(b)は、組合せ応力の応力比 $k = -1, 0, +1$ の関係を示している。応力比 $k = -1$ のときは、引張りと圧縮が作用している状態。応力比 $k = 0$ のときは、引張りのみが作用している状態。応力比 $k = +1$ のときは、引張りと引張りが作用している状態。

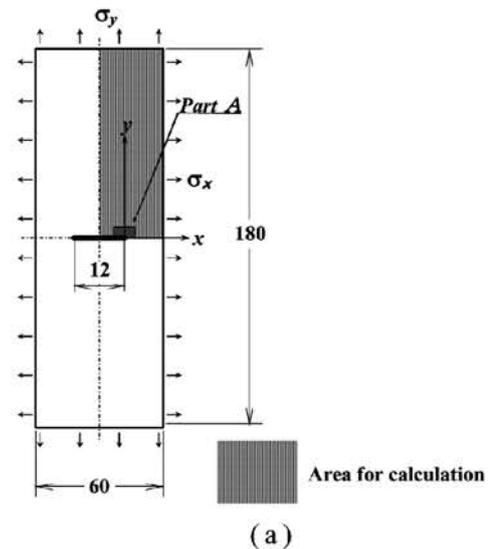


Fig.2 Treated problems (a).

3. 解析形状および解析条件

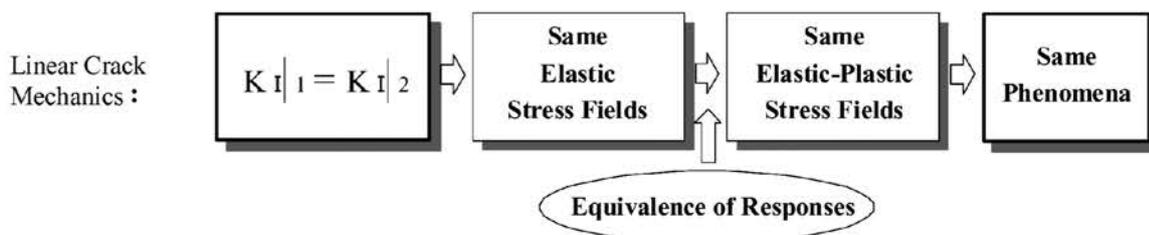
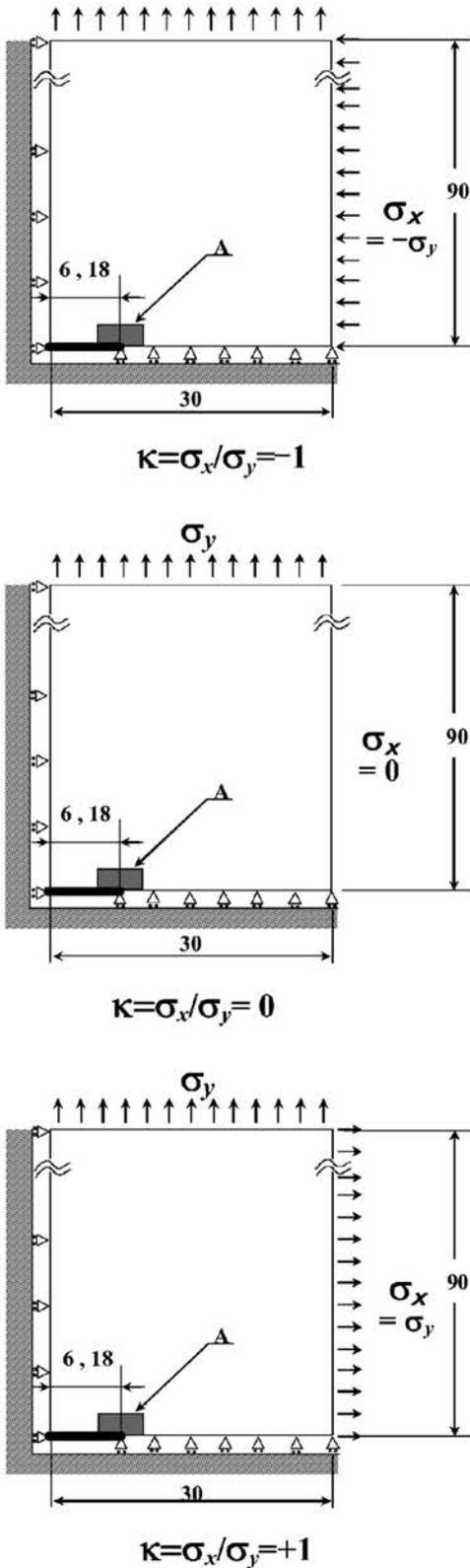


Fig.1 Linear crack mechanics [1 : Specimen , 2 : Real Object].



(b)

Fig.2 Treated problems (b).

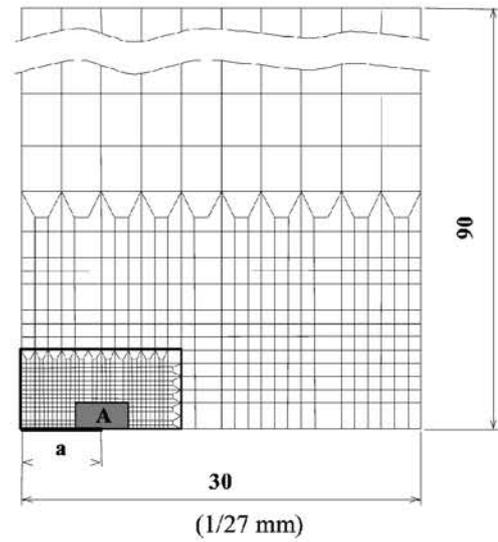


Fig.3 FEM mesh pattern.

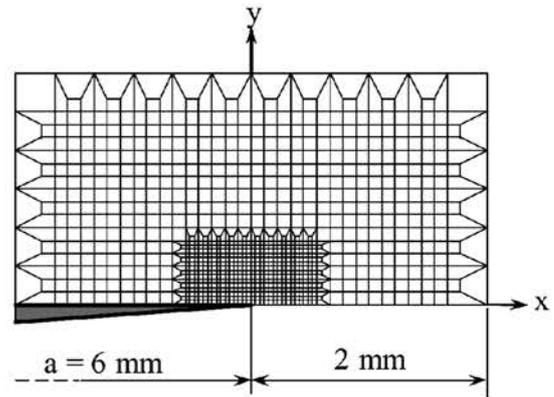


Fig.4 Part A in Fig.3.

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。板長を180mm,き裂長さを12mm,板幅を60mm,30mm,24mmと3段階に変化させた。また、き裂先端近傍の要素サイズ1/27mmとし計算した。なお、計算対象領域は対称性を考慮して図2(a)の細線を施した1/4の部分に該当している。

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。

4. 組合せ応力への適用

ここでは、第ゼロ節点法を組合せ応力問題に適用し、リガメントの影響とその有用性を検証する。

表1は、第ゼロ節点法を用いて求めた F_I の表である。また、応力比ごとにまとめ、厳密解との誤差を調べたものである。

これから、わかるように、第ゼロ節点法は、応力比 $k=0$ のとき、その精度が0.05%以下と極めて

精度がよいことがわかる。これは、今まで行ってきた研究内容と一致する結果である。しかし、応力比 $k=-1$ 、 $+1$ のときは、その精度が20%程度となり、極めて悪い。なお、第ゼロ節点法は、過去の研究からも要素分割を細かくするとその予測精度が上がるということがわかっている。よって、組合せ応力問題に適用する場合、FEMの要素分割を細かいものにする必要がある。

Table.1 Calculation of F_I .

		$\lambda=a/w$	$\sigma_{y0,FEM}$	$F_{I,BFM}$	$F_{I,FEM}$	誤差[%]
中央き裂 a=6	k=0	0.200	16.5850	1.0246	1.0246	0.00
		0.400	17.9530	1.1094	1.1091	0.03
		0.500	19.1980	1.1866	1.1860	0.05
	k=-1	0.200	18.5090	1.0246	1.0246	0.00
		0.400	24.2670	1.1094	1.3433	-21.09
		0.500	25.5780	1.1866	1.4159	-19.33
	k=+1	0.200	14.6610	1.0246	1.0246	0.00
		0.400	11.6390	1.1094	0.8134	26.68
		0.500	12.8180	1.1866	0.8958	24.51

図5~7は、き裂長さと板幅の関係 $\lambda=0.2$ (図5)、 0.4 (図6)、 0.5 (図7)のときのき裂先端近傍の開口変位を示している。縦軸にき裂開口変位[mm]、横軸にき裂先端からの距離[mm]、丸印は応力比 $k=0$ のとき、四角は応力比 $k=-1$ のとき、三角は応力比 $k=+1$ のときである。これからわかるように、 λ が変化した場合、いずれの図も、応力比による荷重のかかり具合が応力比 $k=0$ を基準に考えると、応力比 $k=-1$ は下側に、応力比 $k=+1$ は上側にある。すなわち、応力比 $k=-1$ は、荷重が引張りと圧縮が作用しているの、単純な引張り問題よりも、き裂が開いていない状態となった。また、応力比 $k=+1$ は、荷重が引張りとなら引張りが作用しているの、単純な引張り問題よりも、き裂が開いている状態となった。

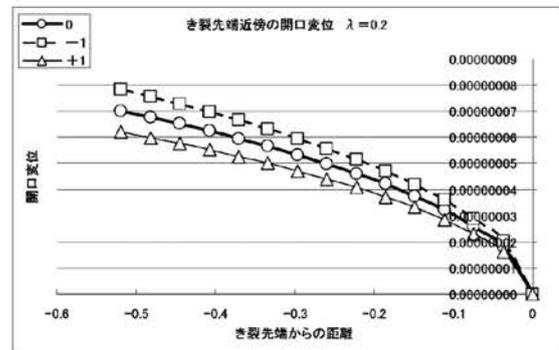


Fig.5 Crack opening displacement ($\lambda=0.2$).

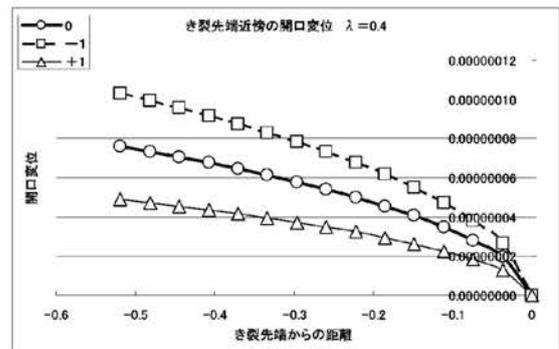


Fig.6 Crack opening displacement ($\lambda=0.4$).

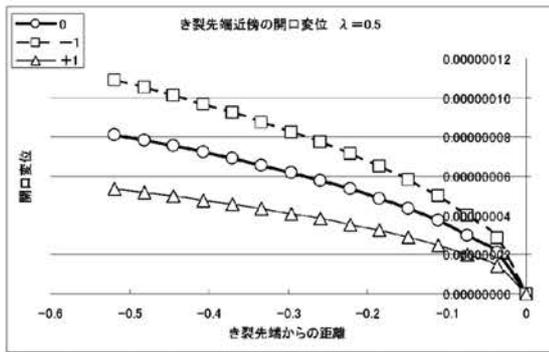
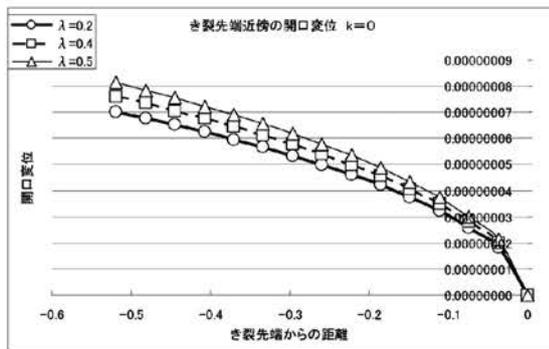
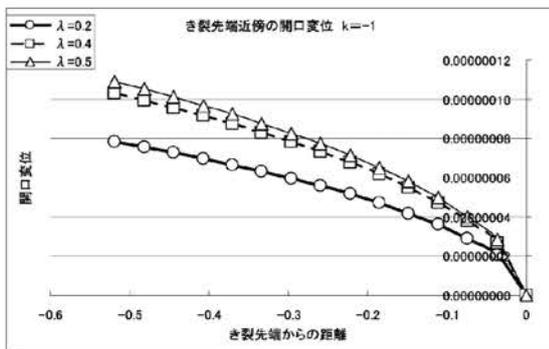
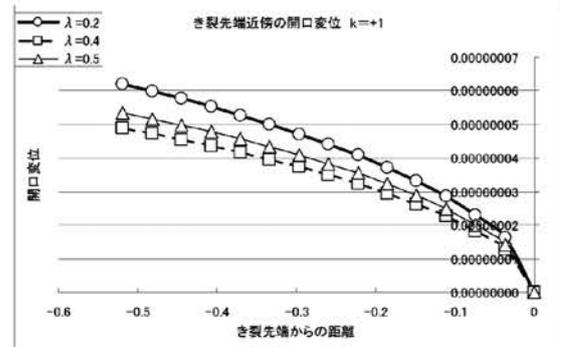
Fig.7 Crack opening displacement ($\lambda=0.5$).Fig.8 Crack opening displacement ($k=0$).Fig.9 Crack opening displacement ($k=-1$).

図8～10は、応力比 $k=-1$ (図9), 0 (図8), $+1$ (図10)のときのき裂先端近傍の開口変位を示している。縦軸にき裂開口変位[mm], 横軸にき裂先端からの距離[mm], 丸印は $\lambda=0.2$ のとき, 四角は $\lambda=0.4$ のとき, 三角は $\lambda=0.5$ のときである。これからわかるように, 応力比 $k=0$ のとき, 板幅によるリガメントの影響は, ほぼない。しかし, 応力比 $k=-1$ のときは, 板幅が短くなるにつれ, き裂が開く傾向にある。また, 応力比 $k=+1$ のときは, 板幅が短くなるにつれ, き裂が開くしにくくなる傾向にある。すなわち, き裂の開口

の傾向は, 応力比に依存していることがわかる。よって, 要素分割を細かくすれば, 第ゼロ節点法を用いることができる。

Fig.10 Crack opening displacement ($k=+1$).

5. おわりに

本論文では, 第ゼロ節点法を組合せ応力問題に適用し, 以下の知見を得た。

第ゼロ節点法は, 要素分割の最小要素長さが $1/27\text{mm}$ の状態では, 単純な引張り問題においては十分な精度を持っていたが, 複雑な荷重条件下においては, 要素分割をさらに細かくする必要があることがわかった。

FEM解析では, 要素分割に要する時間が多いのが現状である。このため, 今回は十分な検討がなされていないので, 念のため詳しく調べる必要がある。

小山工業高等専門学校 機械工学科
E-mail : t-kawamura@oyama-ct.ac.jp

「受理年月日 2009年9月29日」