

FEM汎用プログラムによるき裂先端近傍の重要性

Importance of near a crack tip by FEM

川村 壮司

Takashi KAWAMURA

1. はじめに

FEM汎用プログラムは、自動車の衝突解析に利用されるなど、その利用が多岐にわたっている。その中で、き裂が関与している破壊の予測にも利用することができ、その研究が多く行われている。

そこで本論文は、FEM汎用プログラムを用いたときのき裂先端近傍の重要性を、第ゼロ節点法、応力外挿法、変位外挿法、接続外挿法を利用して明らかにした。

2. き裂を有する材料の破壊の予測

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。

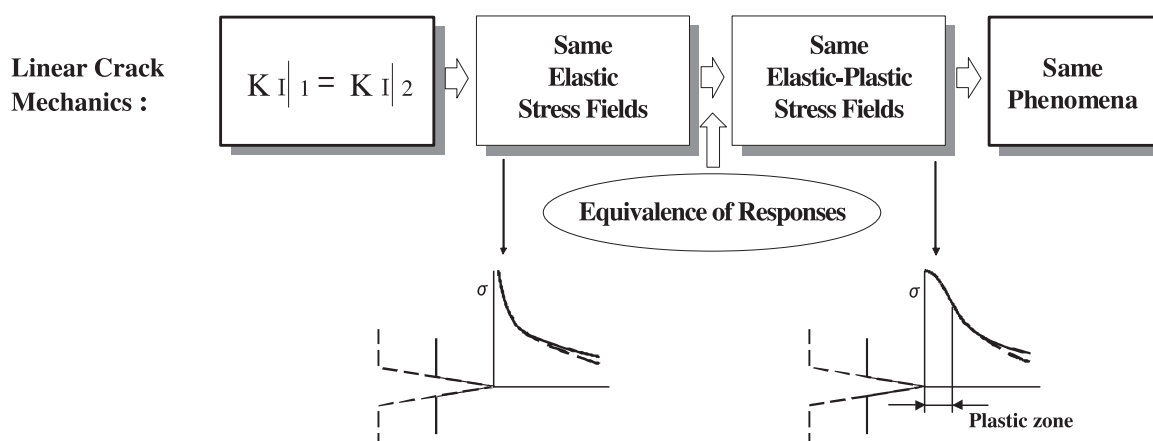


Fig.1 Linear crack mechanics [1 : Specimen , 2 : Real Object].

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。

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、48mm、36mm、30mm、24mmと5段階に変化させた。また、き裂先端近傍の要素サイズを1/3mm、1/9mm、1/27mmの3段階に変化させ計算した。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。

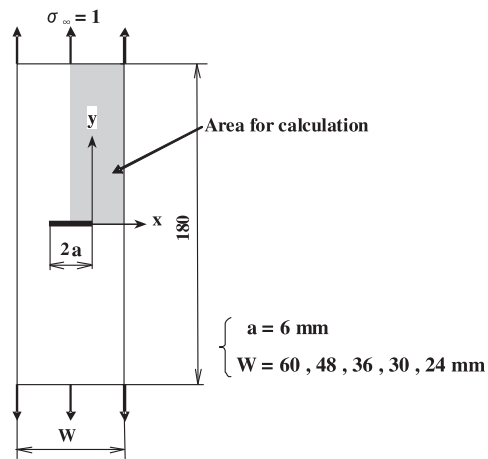


Fig.2 Treated problems.

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。

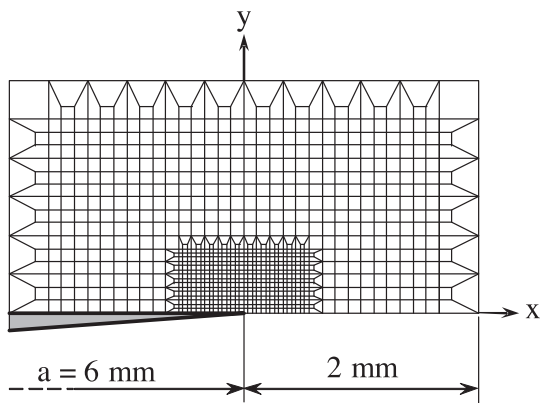


Fig.4 Part A in Fig.3.

4. き裂先端近傍の重要性

ここでは、き裂先端近傍の重要性を調べるために、き裂先端近傍の要素分割を細かくしていく。そして、き裂先端近傍の値を利用して応力拡大係数を求める手法を用いてき裂先端近傍の重要性を明らかにする。

表1は、第ゼロ節点法、応力外挿法、変位外挿法、接続外挿法でそれぞれの方法で求めた F_I を表にまとめ、厳密解との誤差を調べたものである。

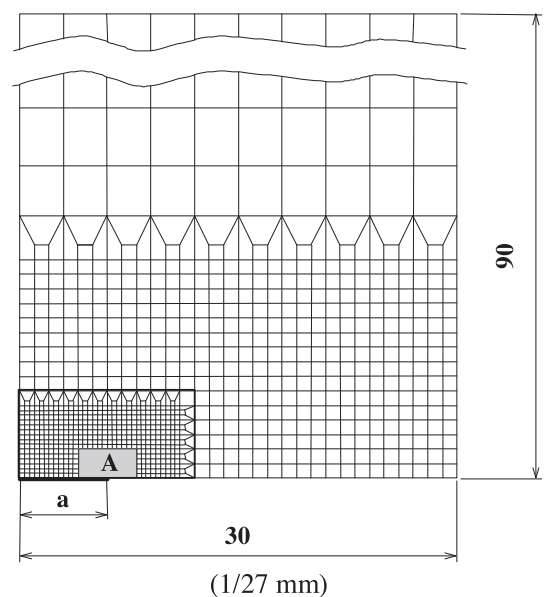
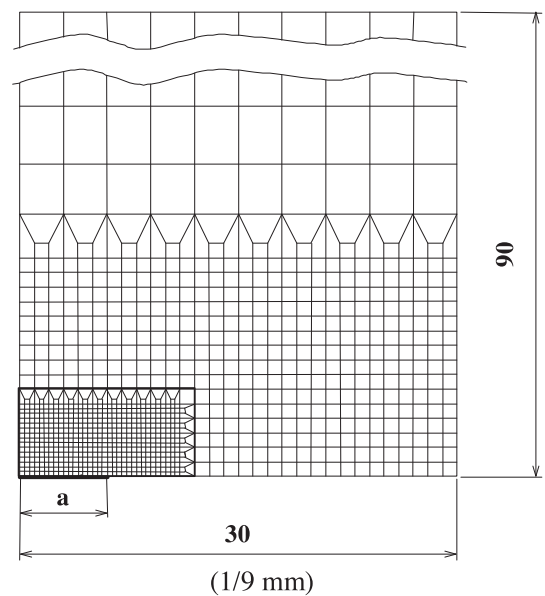
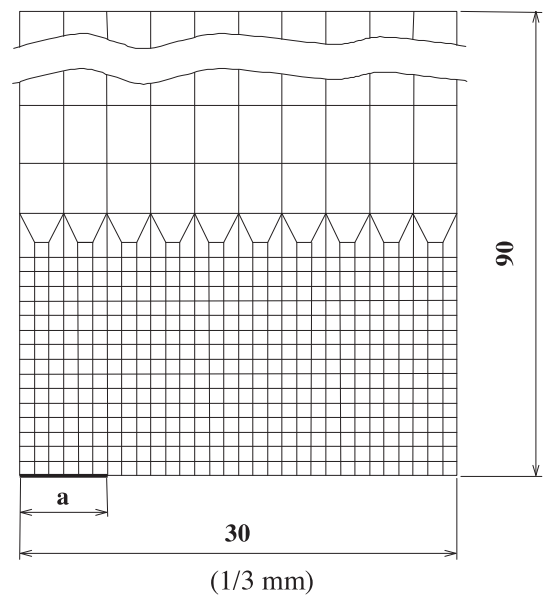


Fig.3 FEM mesh pattern.

第ゼロ節点法の精度は板幅を変化させても、0.1%~0.3%程度となっている。応力外挿法の精度は、要素分割が同じであれば、板幅を変化させても1.0%~2.5%の範囲にある。変位外挿法の精度は、要素分割が同じであれば、板幅を変化させても1.0%~2.0%の範囲にある。接続外挿法の精度は、要素分割が同じであれば、板幅を変化させても0.6%~2.0%の範囲にある。

最小要素分割が1/3mmのときのそれぞれの誤差をみると、要素分割が粗いと従来法の精度が

最低でも1.4%程度の影響が出ることがわかる。

最小要素分割が1/9mmのときのそれぞれの誤差をみると、最小要素分割が1/3mmのときと比べ、精度が上がっていることがわかる。

最小要素分割が1/27mmのときのそれぞれの誤差をみると、第ゼロ節点法は従来法と比較して、非常に高い精度をもっていることがわかる。

図5は応力外挿法により、図6は変位外挿法により、図7は接続外挿法により、応力拡大係数を求めたものである。

Table.1 Calculation of FI.

F _I	$\lambda=0.2$			
	C.T.S.M.	S.E.M.	D.E.M.	H.E.M.
1/3	1.0246*	1.0088	1.0098	1.0061
1/9	1.0246*	1.0388	1.0105	1.0168
1/27	1.0246*	1.0374	1.0360	1.0309
	$\lambda=0.25$			
	C.T.S.M.	S.E.M.	D.E.M.	H.E.M.
1/3	1.0388	1.0228	1.0238	1.0200
1/9	1.0390	1.0534	1.0247	1.0311
1/27	1.0391	1.0521	1.0506	1.0455
	$\lambda=0.333$			
	C.T.S.M.	S.E.M.	D.E.M.	H.E.M.
1/3	1.0715	1.0557	1.0574	1.0524
1/9	1.0722	1.0866	1.0867	1.0807
1/27	1.0725	1.0856	1.0844	1.0788
	$\lambda=0.4$			
	C.T.S.M.	S.E.M.	D.E.M.	H.E.M.
1/3	1.1073	1.0915	1.0937	1.0895
1/9	1.1086	1.1259	1.0944	1.1001
1/27	1.1091	1.1231	1.1215	1.1161
	$\lambda=0.5$			
	C.T.S.M.	S.E.M.	D.E.M.	H.E.M.
1/3	1.1825	1.2178	1.1642	1.1670
1/9	1.1852	1.2144	1.1682	1.1973
1/27	1.1860	1.2110	1.1998	1.1955
	*Standard for corrections			

⇒

	$\lambda=0.2$			
	C.T.S.M.	S.E.M.	D.E.M.	H.E.M.
1/3	0.00%*	1.54%	1.44%	1.81%
1/9	0.00%*	1.39%	1.38%	0.77%
1/27	0.00%*	1.25%	1.11%	0.61%
	$\lambda=0.25$			
	C.T.S.M.	S.E.M.	D.E.M.	H.E.M.
1/3	0.04%	1.58%	1.48%	1.85%
1/9	0.01%	1.37%	1.40%	0.78%
1/27	0.01%	1.24%	1.10%	0.60%
	$\lambda=0.333$			
	C.T.S.M.	S.E.M.	D.E.M.	H.E.M.
1/3	0.10%	1.58%	1.42%	1.89%
1/9	0.04%	1.31%	1.31%	0.75%
1/27	0.01%	1.21%	1.10%	0.57%
	$\lambda=0.4$			
	C.T.S.M.	S.E.M.	D.E.M.	H.E.M.
1/3	0.19%	1.61%	1.42%	1.80%
1/9	0.07%	1.49%	1.35%	0.84%
1/27	0.03%	1.23%	1.09%	0.60%
	$\lambda=0.5$			
	C.T.S.M.	S.E.M.	D.E.M.	H.E.M.
1/3	0.35%	2.63%	1.89%	1.66%
1/9	0.12%	2.34%	1.55%	0.90%
1/27	0.05%	2.06%	1.11%	0.75%
	*Standard for corrections			

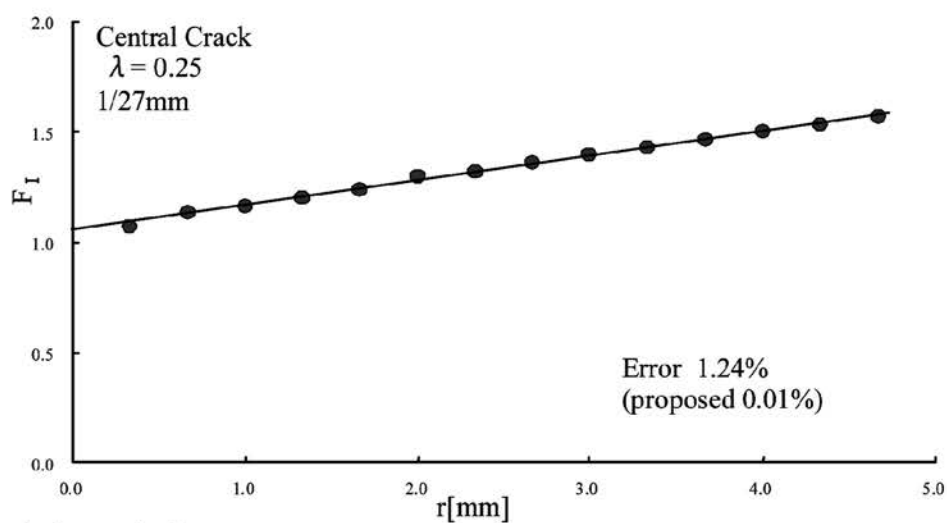


Fig.5 Stress extrapolation method.

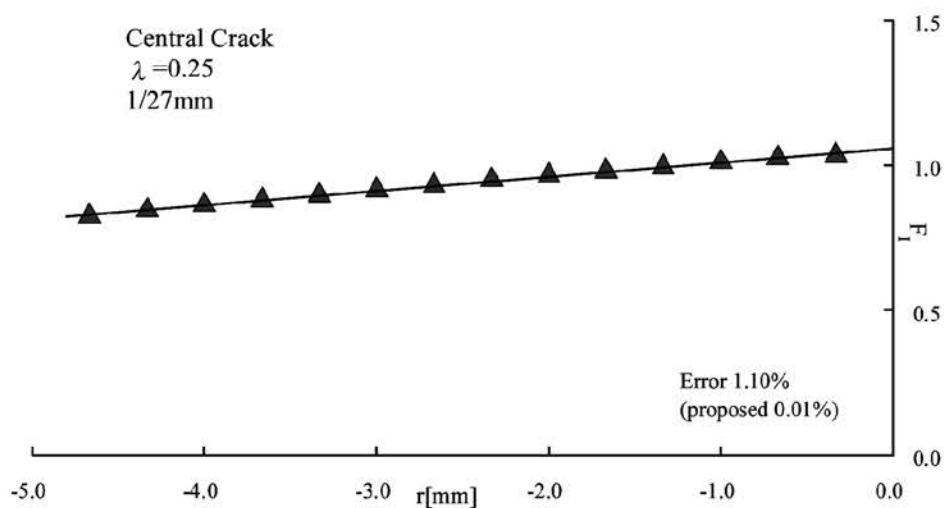


Fig.6 Displacement extrapolation method.

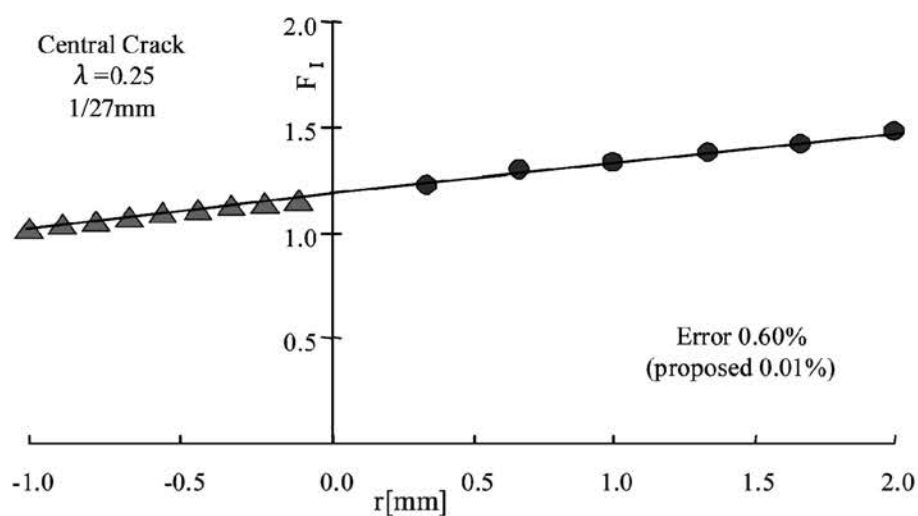


Fig.7 Hybrid extrapolation method.

5. おわりに

本論文では、FEM汎用プログラムを用いたと

きのき裂先端近傍の重要性を明らかにした。

「受理年月日 2008年9月29日」