

CRC	正員	渡辺 隆久
九大工		宮崎 則幸
CRC	正員	田形 一則

1. はじめに

1 荷重サイクル当りの疲労き裂進展量は、Paris 則によると応力拡大係数範囲と指数関数関係にある。疲労き裂進展解析を行う場合、構造物に存在するき裂の応力拡大係数を疲労き裂進展によって変化する各き裂形状に対して、求める必要がある。3次元体中の応力拡大係数は、平板中に存在する半楕円表面き裂の場合を除いて、実用上において重要である3次元構造物における表面き裂の応力拡大係数については、充分な結果が得られていないのが現状のようである。平板に存在する半楕円表面き裂の応力拡大係数は、き裂の各形状についてパラメータ解析が行われており、疲労き裂進展解析に便利はように、き裂の最深部と表面部での応力拡大係数が数式などによって表わされている。これらの解は、ASME Sec. XI で与えられている方法を応力することによって、平板以外の構造物における表面き裂の応力拡大係数解析に用いることができる。しかし、このような簡易的な評価法による解と有限要素法による解との比較は、平板以外では行われていない。従って、本報では、一般的な構造物について有限要素法と簡易評価法の解について比較検討を行う。

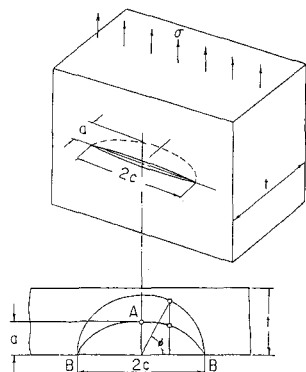
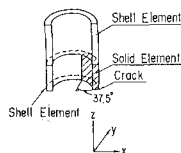
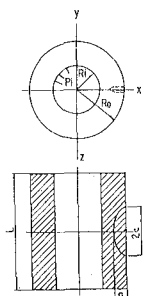
2. 表面き裂の応力拡大係数の解析法

有限要素法による解析法は、仮想き裂進展法によって行っている。簡易評価法は、次のような方法によって行う。図1に示すような平板中の半楕円表面き裂の2次元的な疲労き裂進展解析を行う場合には、図中のAとB点での応力拡大係数 K_I^A , K_I^B が必要となる。一般に板厚方向に直線的に変化する応力を受ける平板では、 K_I^A と K_I^B は

$$K_I^A = (M_m^A \sigma_m + M_b^A \sigma_b) \sqrt{\pi a} / E(\kappa), \quad K_I^B = (M_m^B \sigma_m + M_b^B \sigma_b) \sqrt{\pi a} / E(\kappa), \quad \kappa^2 = 1 - (a/c)^2 \quad (1)$$

となる。ここで σ_m , σ_b は、引張りりと曲げ応力成分、 M_m , M_b は、引張りりと曲げ応力に対する補正係数、 $E(\kappa)$ は第2種完全楕円積分である。ASME Sec. XI では、板厚中の任意の応力分布を引張りりと曲げ応力成分に分離し、式(1)を用いて任意の構造物における表面き裂の応力拡大係数を求めることを提案している。また応力を分離する方法も示されている。一方、補正係数 M_m と M_b は、多くの研究者によって a/t あるいは a/c の関数として、図表や近似式の形で与えられている。き裂形状が連続的に変化する疲労き裂進展解析の場合には、数式の形で与えられ補正係数を用いるのが便利である。本論文では、次の6つの方法で補正係数を求めた。① ASME Sec. XI による図、② Sakakibara らによる評価式⁽¹⁾、③ Soya らによる評価式⁽²⁾

④ Kawahara らによる評価式⁽³⁾、⑤ Scott & Thorpe による評価式⁽⁴⁾、⑥ Newman & Raju による評価式⁽⁵⁾。これらのうち、Newman & Raju の簡易評価法によれば、き裂縁に沿った応力拡大係数の分布が得られるので、これを有限要素法により求めた分布と比較した。



3. 解析例と考察

(I) 内圧を受ける円筒中の軸方向 図2. 外表面き裂を有する円筒と解析モデル 図1 平板中の半楕円表面き裂

外表面き裂の解析 図2に示すような内圧 P_i を受ける円筒の軸方向外表面き裂について応力拡大係数の解析を行った。有限要素モデルは、図中で示したようにき裂近傍は3-D Solid要素、他の領域はシェル要素でモデル化した。簡易評価法を適用するに当っては、き裂面に垂直な周方向応力を $\sigma_{\theta\theta}$ として内圧を受ける円筒に対する解析解を用いた。表1では、 $\psi=0^\circ$ (B点)と 90° (A点)での結果を示した。また図3では、他の有限要素解と本結果およびNewman & Raju 式による簡易評価法の結果を示した。本結果は、 $\psi=0^\circ$ 付近でAtluri & Kathiresanの解に近く、他の領域で表1. 応力拡大係数の比較

はNishioka & Atluriの解と良く一致している。簡易評価法による解は、全体的に高目の解を与えている。

(II) 面内曲げ荷重を受けるエルボ中の内表面き裂の解析

ここでは、図4に示すような曲管モデルを解析する。き裂はエルボ中央部の 0° と 180° の位置にあり、き裂形状は図5に示すとおりである。き裂の長軸は、管軸と平行にあるとする。無き裂モデルは、簡易評価法を適用するのに必要な応力分布を求めるために解析を行った。図6には、モデル化の概念図を示した。図7では、き裂縁に沿った応力拡大係数の分布を示した。

同図において、簡易評価法との比較では、小き裂の場合はよく一致しているが、大きき裂になると合い方が少し悪くなっている。

【参考文献】

- (1) Sakakibara, Y, et al. 6th SMIRT(1981)E 76.
- (2) 征矢他,造船学会誌 Vol.140(1976)PP223,
- (3) 川原他,日本鋼管技報, No.78(1978)PP.67.
- (4) Scott, P.M. & Thorpe, I.W, Fatigue of Engng Mat. and Struct., Vol. 4 (1981) PP291.
- (5) Newman, J.C. Jr & Raju, I.S, NASA-TP-1578 (1979).

	Normalized Stress Intensity Factor, F	
	ψ	
	0°	90°
Present	1.585	1.278
ASME Sec. XI		1.452
Sakakibara, et al. (*)	1.500 (1.578)	1.379 (1.451)
Soya, et al.	1.452	1.241
Kawahara, et al.	1.465	1.441
Scott & Thorpe	1.583	1.382
Newman & Raju	1.506	1.397

(*) The numbers in the parentheses indicate the stress intensity factors multiplied by the curvature correction factor.

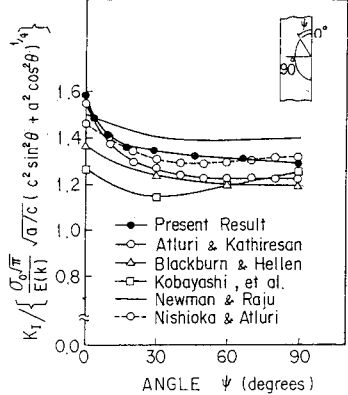


図3. 応力拡大係数の分布

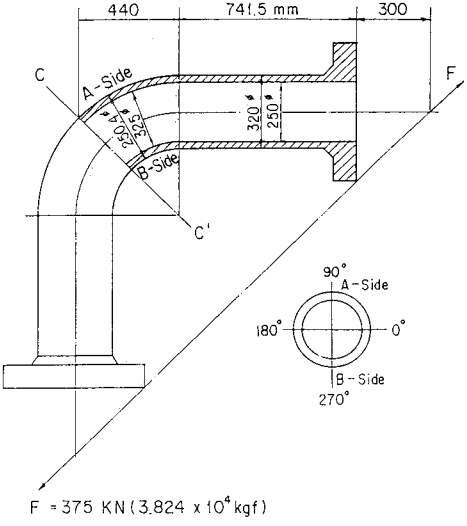


図4. 曲管の形状

図6. 曲管のモデル化

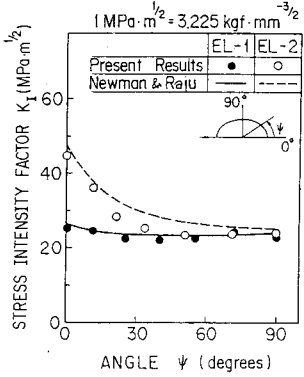


図7. 応力拡大係数の分布

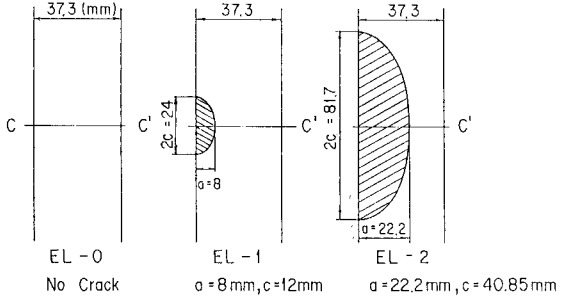


図5. き裂の形状