

I-23

面外クラックの動的進展解析

岡山大学大学院 学生員 ○小野正博

岡山大学工学部 正 員 広瀬壮一

岡山大学工学部 正 員 谷口健男

1. まえがき 本研究の目的は、動的荷重下での2次元面外き裂問題を境界要素法を用いて解析を行ないき裂の破壊進展挙動を明確にすることである。境界要素法ではき裂上の開口変位のみを未知数とする方程式を構成できるので有限要素法のように特別な要素再分割等の必要もなく容易にき裂進展を行なえる。数値解析においては、まず変位・応力拡大係数を既存の解と比較し精度の検定を行ない、そしてき裂の進展・停止過程を設定し、き裂の動的破壊挙動について考察を加えた。

2. 境界要素法によるき裂解析 ここでは無限弾性体中にある2次元面外き裂を対象とする。時刻 $t < 0$ においてはき裂は存在せず、無限領域は一樣なせん断応力 σ_0 をうけた静止過去の状態にあると仮定する。時刻 $t = 0$ において、 $(-a, 0)$ 、 $(a, 0)$ の2点を端点座標とする長さ $2a$ のき裂が現れ、その後2つのき裂先端は各時間ステップごとに進展量 Δx で広がっているものとする。このようなき裂問題に対する積分方程式は次のように表わされる。

$$0 = \sigma_0 + p.f. \int_0^t \int_{S_c(t)} W_{33}(\eta; \xi, \tau) [u_3(\xi, t-\tau)] dS_c d\tau \quad t > 0 \cdots (1)$$

$$W_{33} = \frac{\mu}{9\pi cR} [N \cdot \sqrt{\chi^2 - 1} - (\sigma_R/\sigma_N)(\sigma_R/\sigma_N) \frac{\chi^2 - 1}{\sqrt{\chi^2 - 1}}], \quad R = |\eta - \xi|, \quad \chi = c\tau/R$$

μ : せん断弾性係数

c : 波速

N : 点 η での法線ベクトル

n : 点 ξ での法線ベクトル

ここに $S_c(t)$ は時刻 t におけるき裂境界であり、 $[u_3]$ はき裂開口変位を表わす。また、 $p.f.$ は積分の有限部分を示す。なお、き裂境界 $S_c(t)$ 上では常に表面力が0であると仮定している。式(1)を空間(境界)と時間において離散化を行ない、各時間ステップごとに未知数である $[u_3]$ を求めた。なお、 $[u_3]$ は空間に関しては一定要素(き裂先端部では $\sqrt{\varepsilon}$ (ε : き裂先端からの距離)という形状関数を用いた。)、時間に関しては一次関数を用いて離散化した。

3. 解析結果 解析を行なうにあたって理論解との比較を行ない精度を検証した。図1はき裂進展をせず、時間ステップ幅 $(c\Delta t/a) = 0.10$ として解析を行なった場合のき裂先端における応力拡大係数を横軸に無次元化時間 (ct/a) をとり、プロットしたものである。理論解¹とほぼ一致しているのがわかる。図2は時間ステップ幅 $(c\Delta t/a) = 0.16$ 、進展速度 $(\Delta x/c\Delta t) = 0.50$ でき裂進展させた場合の x 軸上の幾つかの点における開口変位を変化を示したものである。図2は時間 $(ct/a) = 2.4$ 前後までは理論解²とほぼ同様な値をとっているが、その後解析値の傾きが小さくなっている。これは理論解が $-\infty < x_1 < a, x_2 = 0$ なる半無限き裂に対する解であるのに対し、本研究では長さ $2a$ の有限き裂を対象としているので、 $(ct/a) = 2.4$ 以降 $(-a, 0)$ のき裂先端部からの影響を受けているためである。

次に、き裂を進展させた後、停止させる場合について表1に示す入力データを用いて解析を行なった。図3は $0 < t < t_c$ の間き裂進展させた後、時刻 $(ct_c/a) = 1.6$ において進展を停止した場合の応力拡大係数を示したものである。き裂進展速度を変えた3ケースを比較すると進展中は進展速度が大きいものほど値が小さいが、停止後は最も大きく遅くピークを迎える。これは進展速度が速いほど進展停止時でのき裂長が長いことから反対側のき裂先端から放射される波動による影響を受けるまでに時間がかかるためである。図4は図3と同様にしてき裂進展停止時間 (ct_c/a) を操作して停止時のき裂長をそろえた場合の応力拡大係数を示したものである。どのケースも進展停止後、停止時間によるずれがあるものの同様の挙動を示している。

4. あとがき 以上のことより2次元面外問題への境界要素法の妥当性の検証、進展停止による応力拡大係数の経時変化を明らかにすることができた。。しかし、解析プログラム上でのき裂の進展・対象領域など今後改善の余地があるように思われる。

表（1） 入力データ

Case	1	2	3	4	5	6
時間ステップ幅 ($c\Delta t/a$)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
進 展 量 ($\Delta x/a$)	0.08	0.06	0.04	0.08	0.06	0.04
進 展 速 度 ($\Delta x/c\Delta t$)	0.80	0.60	0.40	0.80	0.60	0.40
進展停止時間 (ct_0/a)	1.60	1.60	1.60	0.40	0.50	0.70

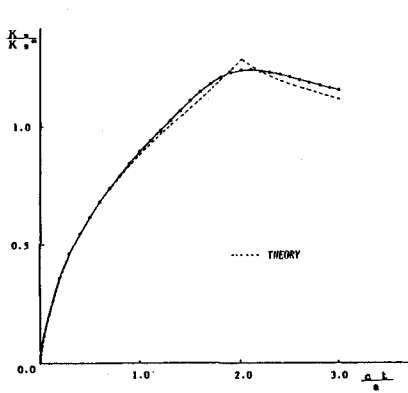


図 1

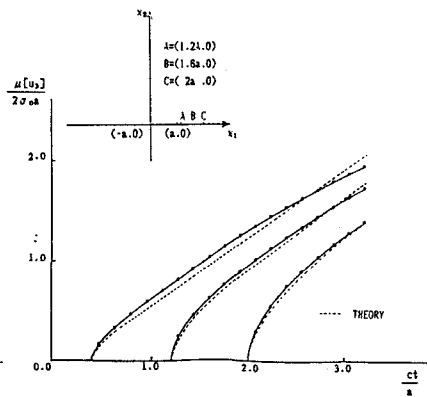


図 2

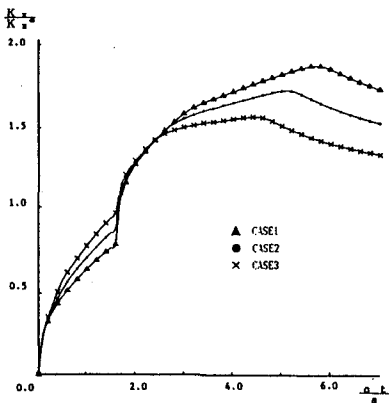


図 3

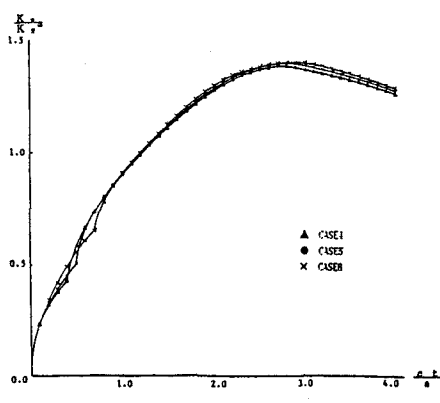


図 4

- 《参考文献》1. Thau, S.A. and Lu, T-H. (1970), Int. J. Eng. Sci., Vol. 18, p. 857.
2. Kostrov, B.V., (1966), J. appl. Math. Mech. (PMM), Vol. 30, p. 1241-1248.