

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 近年、構造物の安全性・耐久性を定量的に評価を行なう手法の確立が急がれている。安全性・耐久性に影響を及ぼすものの一つにき裂が挙げられる。動的荷重下でのき裂に関する解析は静的解析に比べて取り扱いが困難なこと、動的破壊現象を実験により検証することが難しいことなどから十分といえるほど行なわれていない。しかし、き裂の動的進展挙動に関する研究は、AE法など非破壊評価法の理論的裏付け、衝撃荷重下でのき裂の動的進展挙動の解明などには必要不可欠なものである。また動的荷重下での応力拡大係数は、一時的にせよ静的荷重下での値をしばしば上回ることがある。このことからき裂の進展挙動の解析結果を用いれば、より安全側での構造物に対する評価ができるであろう。本研究では、2次元面外き裂の動的進展解析を境界要素法を用いて行なった。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することが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解析を行なえる。

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。

$$0 = \sigma_0 + p.f. \int_0^t \int_{S_c(\tau)} W_{33}(\eta; \xi, \tau) [\ddot{u}_3(\xi, t-\tau)] dS_c d\tau \quad t > 0 \quad \cdots (1)$$

$$W_{33} = \frac{\mu}{2\pi C_3 R} [N_a n_a \sqrt{\chi^2 - 1} - N_a R_{,an} R_{,a} \frac{2\chi^2 - 1}{\sqrt{\chi^2 - 1}}]$$

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、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次要素、時間に関しては一次関数を用いて離散化している。

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分かる。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の変化を示したものである。図2は時間 $(ct) = 12.0$ 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 $-\infty < x_1 < \infty, x_2 = 0$ なる半無限き裂であるのに、本研究では長さ $2a$ の有限き裂を対象としているので、 $(ct/a) = 12.0$ あたりで $(-a, 0)$ のき裂先端部からの影響を受けているためである。

次に、き裂進展を行なう場合、き裂進展を停止させる場合について表(1)のような入力データを用いて解析をおこなった。図3は時間ステップ幅をそろえてき裂進展量を変え、様々な進展速度に対する応力拡大係数の経時変化を示したものである。これより進展速度が小さいものほど応力拡大係数が大きくなっているのが分かる。図4は $0 < ct/a < ct_e/a$ の間き裂進展させた後、時刻 ct_e/a 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

でのき裂長が長いいため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。

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・開始により応力拡大係数が激増・激減することが分かった。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 ($c\Delta t/a$)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
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_e/a)	—	—	—	1.60	1.60	1.60

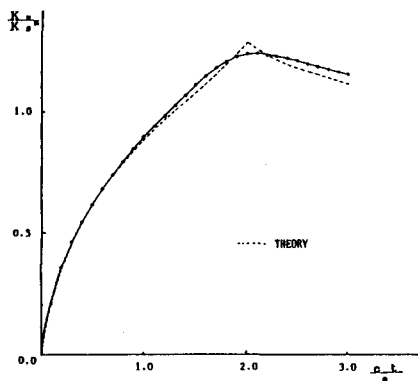


図1

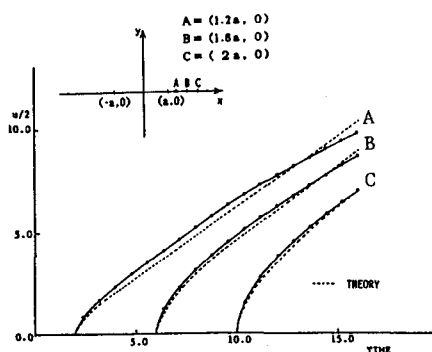


図2

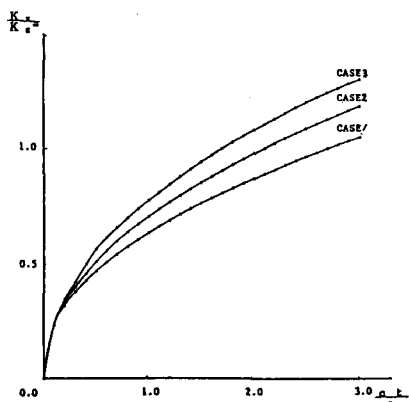


図3

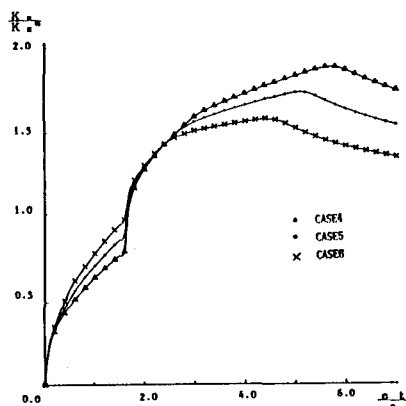


図4

- 《参考文献》1.N.Nishimura et al, Proc.1st Japan-China Symp.B.E.Ms,pp.85-94,1987
 2.Das and K.Aki,A numerical study of two-dimensional spontaneous rupture propagation,Geophys J.R. astr.Soc vol.50,pp.643-668.1977