

I-65

鋼構造物における疲労き裂の伝播解析

岡山大学大学院 学生員 ○森脇 清明
 川崎重工業（株） 真田 健司
 岡山大学工学部 正会員 谷口 健男

1. まえがき 最近、供用中に多くの繰り返し荷重を受ける構造物において疲労によると思われるき裂の発生が数多く報告されるようになってきた。そのため、疲労き裂に対する設計・製作上の考慮・対策といったものの見直しが行われ始めている。そこで、本研究の目的は、既にき裂が発生している構造物の余寿命を推定することでその構造物の延命策を検討する際の手段の1つにしようとするものである。

2. 疲労き裂の伝播解析システム 本解析システムは、有限要素法を基礎にして解析を行うことにしている。ただし、ここで示す方法は線形破壊力学に基づいているため、き裂先端では小規模降伏状態を仮定していることを断わっておく。①有限要素モデルの設定、②応力拡大係数の算定、③き裂の進展方向の予測、に関しては、筆者らの研究報告（文献1、2）に基礎をおいているので、ここでは概略のみを示す。（i）応力拡大係数の算定法は、Ingraffea による変位法を用いる。（ii）き裂進展方向の予測法としては、き裂先端の周方向直応力最大の方法を用いる。

次に、荷重繰り返し回数の算定について考える（文献3）。疲労き裂伝播速度式として、Paris による実験式がある。これは、き裂伝播速度（ da/dN ）と応力拡大係数範囲 ΔK の関係が示されているが、さらに、 ΔK_{th} （下限界応力拡大係数範囲）を考慮した式（1）を本解析システムでは用いることにする。

$$\frac{da}{dN} = \begin{cases} C (\Delta K)^m & \Delta K > \Delta K_{th} \\ 0 & \Delta K \leq \Delta K_{th} \end{cases} \quad (1)$$

さて、一定振幅荷重下での ΔK の評価法について述べる。ここでは、き裂長が a_n から a_{n+1} まで進展する区間は、平均き裂長 $(a_n + a_{n+1})/2$ をこの区間のき裂長とみなし、その長さに対する平均応力拡大係数値 $(K_n + K_{n+1})$ をこの区間の値とする。この仮定により、連続的挙動を段階的解析に置換している。

変動重複荷重下における ΔK の評価法については、活荷重のモデル化を以下の方法で行うことにしている。（i）BLOCK法：活荷重を数ブロックに分割して取り扱う。（ii）RMM法：1ブロック内の等価な ΔK を算定する際に m 乗平均を用いる。

いずれも実用上利用しやすいという結果を得ている（文献3）。

3. 適用例 適用例1としてプレートガーダーの中間対傾構のガセット部の疲労き裂解析を行った（文献4）。

図1に解析モデルを示し、表1に応力拡大係数の比較、図2に結果の比較を示す。本解析で得られた応力拡大係数は文献4で得られている値に比べて高く求まっている。これは、き裂先端部で用いた要素の種類の差がそのまま出たものと考えられる。き裂進展曲線に関しては、設計する立場で考えればより安全側の結果と言えるので問題はないと言える。

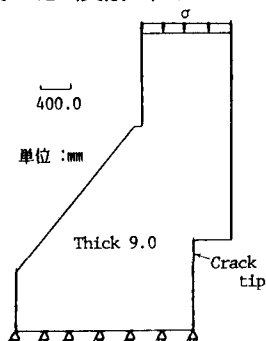


図1 解析モデル

表1 応力拡大係数の比較

き裂長(mm)	K1(本研究) K1(菊池) (%)	K2(本研究) K2(菊池) (%)
4.0	122.2	258.3
6.0	117.0	195.1
8.0	130.3	294.0
10.0	122.4	44.8
20.0	125.1	23.8

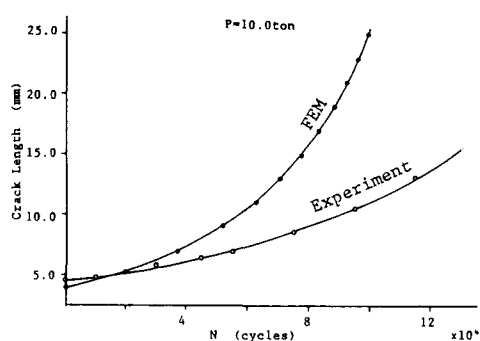


図2 結果の比較

適用例2として、船体ダブルハム構造のマンホール部の疲労き裂伝播解析を行った（文献5）。図3に解析モデルを示し、図4にき裂長とK値の関係および図5に余寿命の推定結果を示す。用いた荷重は、 $F_S=18.2$ ton, $M=14.924$ ton・mである。本解析で得られた応力拡大係数は文献5とほぼ一致しているが、K IIがき裂長 150.0mm以上で顕在化し始めている。この理由として、解析を行う際に用いたズームング技法において、そのき裂長に対する領域確保にやや無理が生じたためと思われる。しかしながら、余寿命推定はほぼ一致しており、適用例1と同様の事が言える。

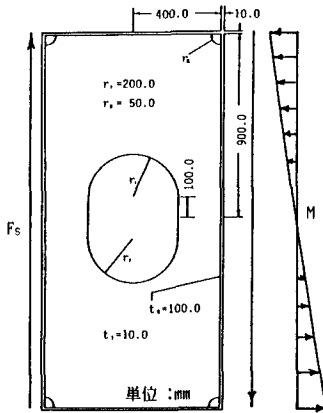


図3 解析モデル

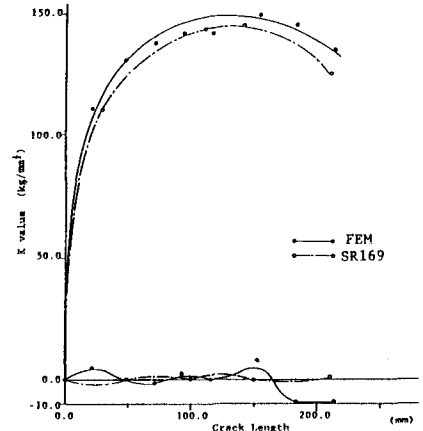


図4 き裂長とK値

適用例3として、道路橋桁端部ウェブプレートにおける疲労き裂伝播解析を行った。解析過程としては、まず、全体系を解き、さらにズームング技法を用いて最終モデル（図6）を決定した。そして、5.0mmの初期き裂を導入して行った解析結果を図7に、進展経路を図8に示す。この数値シミュレーションの試算によれば、フランジ貫通後ウェブプレートでのき裂進展は非常に早いとの推論を得る。なお、用いた荷重は高速道路で計測された測定値を用いた（表2）。

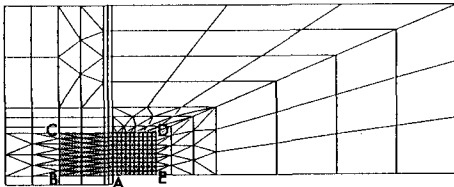


図6 解析モデル

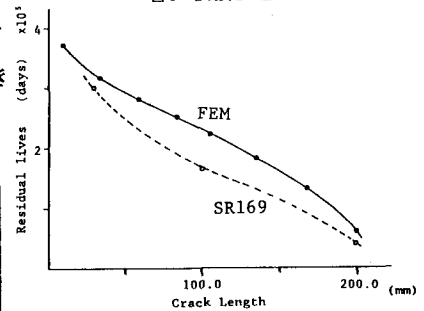


図5 余寿命推定

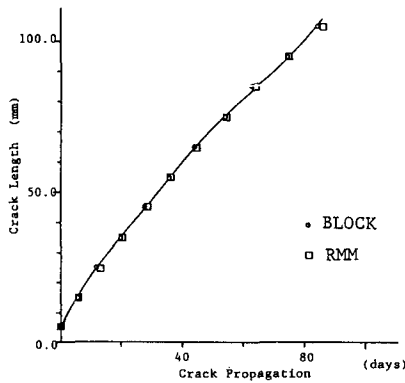


図7 解析結果

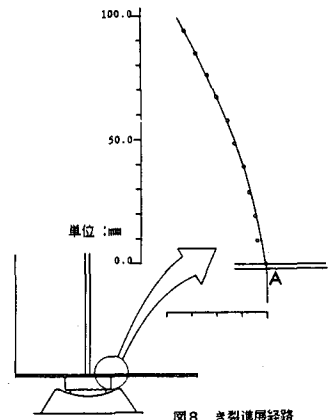


図8 き裂進展経路

表2 用いた荷重

P (ton)	回数
2.5	31,443
7.5	3,690
12.5	2,447
17.5	2,086
22.5	1,448
27.5	272
32.5	120
37.5	81
42.5	30
47.5	22

4. 結論 本研究で開発を行った疲労亀裂伝播解析システムは単純な鋼構造物の疲労き裂に対する余寿命推定に適用可能であるといえる。

〈参考文献〉1)真田 健司他、”き裂伝播解析のための有限要素モデル”；土木学会第42回年次学術講演会（昭和62年9月）。2)森脇 清明他、”き裂伝播の数値シミュレーションに関する基礎的研究”；土木学会第42回年次学術講演会（昭和62年9月）。3)真田 健司他、”鋼構造物の疲労によるき裂伝播解析に関する研究”；土木学会中国四国支部研究発表会（昭和63年5月）。4)菊池 洋一他、”ガセット継手の疲労強度と疲労亀裂進展挙動の破壊力学的評価”；土木学会論文報告集、第320号、PP.25-34,1982.4。5)(社)日本造船研究協会第169研究部会；船体構造の破壊管理制御設計指針、1983。