

名古屋大学 学生員○牧野時則
名古屋大学 正 員 山田健太郎
名古屋大学 正 員 菊池洋一

1. まえがき

橋梁部材の疲労試験は、広範に行なわれてきた。しかし、それら多くの試験では、き裂発生部分の状況や最終破断寿命だけが報告されており、き裂の発生およびその伝播過程に関しては、注意が払われてきたわけではない。そこで、本研究では破壊力学的手法、すなわちき裂先端特性値としての応力拡大係数と、き裂伝播速度 da/dN の関係式より得られる伝播寿命を検討するたりに、リア十字すみ肉溶接継手疲労試験で、とくに試験中塗料によりマーキングを行ない進展中のき裂の状況をとらえることに努めた。その結果、進展中のき裂形状やびす法などが得られ、これを用いて破壊力学的手法により疲労伝播寿命の解析を行なった。

2. 試験片

使用した材料は、SMA50であり、試験片の形状と寸法を図-1に示す。

試験片は、母材をロール方向と直角に6mmのリアを溶接した板から幅8mmの長方形試験片を切り出すことにより、製作した。

3. 試験方法

試験は、容量100トンのアムスラー型疲労試験機を用いて、定応力振幅疲労試験を行なった。応力範囲は、25, 18, 15, 13 kg/mm² の4段階について、最小応力2.8 kg/mm²として試験した。荷重繰り返し速度は540回/分である。

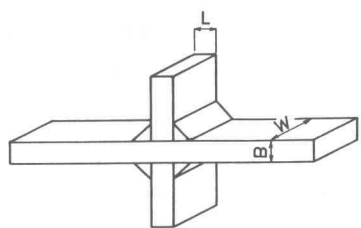
試験片の溶接による曲がりばねは油圧ジャッキにより矯正した。試験片には表裏2枚あるいは4枚のひずみゲージを貼付し、静荷・動的荷重時のひずみの読みが同一の値となるようにして、試験片ごとに検定して試験を行なった。また、疲労試験中にき裂の進展過程を観察するために、浸透性の良い切削用塗料を溶接止端部に塗布し、マーキングを行なった。

4. 試験結果

S-N線図を図-2に示す。図中の実線は回帰直線であり、破断線は95%信頼区間を示す。図には応力範囲 $\sigma_r = 13 \text{ kg/mm}^2$ において、繰り返し回数500万回および1000万回で破断しなかった試験片2本に対して、さらに応力範囲を18 kg/mm²に上げて破断させた結果を○印で示した。この2本の結果から最初から $\sigma_r = 18 \text{ kg/mm}^2$ とした場合の破断寿命との差は認められなかった。試験片は、すべて溶接止端部から発生したき裂から疲労破断した。また、塗料によりマーキングされたき裂は、大半が半楕円形状であり試験片幅8mmにわたって各試験片に2~5個のき裂が同時に発生していることが観察された(写真-1)。その他、半

トンネル状き裂の一部観察された。これらのマーキングにより見つけられた半楕円状き裂の形状を倍率×25, ×50の顕微鏡により観察した。その結果を両対数上に縦軸をき裂幅 a 、横軸をき裂深さ b として図-3に示した。

この図よりき裂形状は、 $a/b = 0.17 \sim 0.7$ の半楕円状き裂であることがわかった。なお、応力範囲によるき裂形状の



$B = 9 \text{ mm} (=L)$
 $W = 80 \text{ mm}$

図-1 試験片の形状と寸法。

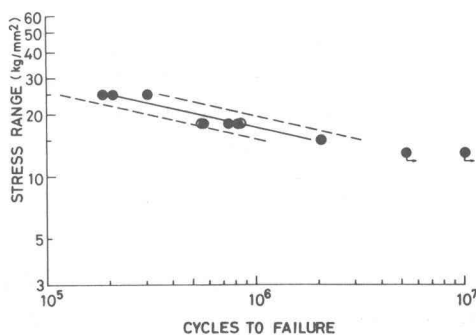


図2 S-N図

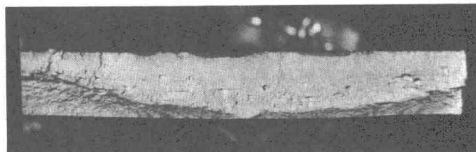


写真-1 止端部り破断面

差異は認められなかった。図-4には、縦軸を各試験片のマーキングき裂のうち最大き裂深さとし、横軸を破断寿命 N_f に対するマーキングした時点の繰返し数 N_{gr} の比 N_{gr}/N_f として示した。この図に示すように、破断寿命の30%を過ぎた時点でマーキングした場合、き裂が観察された。全てのマーキングき裂のうち最小のき裂深さは、 $a=0.44\text{mm}$ であった。なお、図中の矢印記号の付いているデータは、マーキングした時点ではき裂に相当するマークが残らなかったことを示すものである。また、応力範囲 $\sigma_r=13\text{kg/mm}^2$ として、500万回および1000万回の繰返しで破断しなかった試験片についても同様にマーキングを行なったが、き裂は認められなかった。

したがって、前述したように $\sigma_r=18\text{kg/mm}^2$ で破断したる本と疲労寿命も同一であることを考えると、500万回、1000万回の繰返し載荷は、少なくとも疲労き裂を発生させるに至らなかったと考えられる。これらマーキング時点のき裂から破断するまでの寿命は、疲労き裂の伝播寿命の一部をなすものであり、次の5.で述べる破壊力学による疲労き裂の解析の対象となる。

5. 解析

き裂伝播解析には、次式に示すようなParisによって表わされたき裂伝播速度式を用いた。

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^m \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 a :き裂深さ、 N :繰返し数、

ΔK :応力拡大係数範囲 ($\text{kg/mm}^{3/2}$)、

da/dN :き裂伝播速度 (mm/cycle)、

C, m :材料定数。

材料定数としては、Barsonの結果より $C=1.43 \times 10^{-10}$ 、 $m=3$ を用いた。ここで、き裂形状を表わす a/b 値として、図-4に示した試験結果より $a/b=1/3$ と仮定した。また、試験から得られた試験片に存在する数個のき裂のうち最大き裂を、

初期き裂 a_i とし、最終き裂としては板厚を用いて上式を積分して伝播寿命を数値計算した。図-5には、その解析結果として、き裂の大きさを縦軸に、その大きさから破断までの残存寿命を横軸として両対数上にプロットした残存寿命曲線を示す。また、図中には前述のマーキングから得られたき裂の大きさと、そのき裂から最終き裂までの残存寿命の試験結果を、各応力レベルについて記号を変えて示した。その結果、応力レベルが大きい場合には比較的良好な一致を示した。

6. 結語

試験の結果、切削用塗料でのマーキングにより、進展中のき裂形状およびその寸法が良好に観察できた。このマーキングき裂から破断までは、破壊力学的手法によって解析が可能であることがわかった。

〔参考文献〕

Rolfe, Barson: *Fracture and Fatigue Control in Structures*, Prentice Hall, 1977.

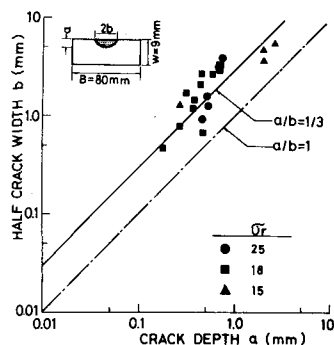


図-3. クラック形状。

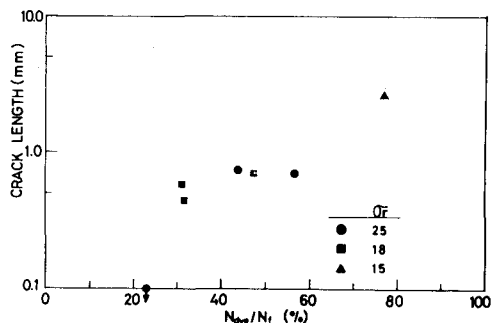


図-4. き裂の大きさとマーキングの時点。

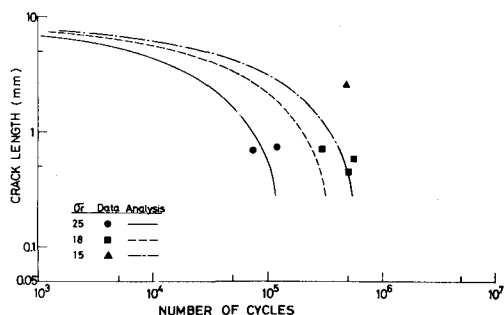


図-5. 残存寿命曲線の計算値と実験値の比較。