

足利工業大学 学生会員 佐々木 力

足利工業大学 フェロー 阿部 英彦

1. はじめに

我が国では、鉄道橋や道路橋が海岸付近の川や海峡を越えて多く架けられている。これらの鋼橋は、近來の交通量の増加に加えて波しぶきや潮風などによる過酷な腐食環境下におかれている。そこで、鋼橋における腐食環境下での繰り返し荷重による影響を把握し、その対策を速やかに講じる必要がある。

今回の研究では、塑性変形された鋼材の疲労強度に着目し、SM400 級の円孔つき試験体および、これに引張り塑性変形（予歪み）を与えて各環境下（大気、真水、塩水）で一定振幅荷重の疲労試験を行い、それぞれの破断 S-N 線図を作成して比較した。また、FEM（有限要素）解析を行い、弾塑性域の進展状況を調べたり、孔の応力集中係数を求めたりして実験結果を考察した。

2. 実験方法

今回の試験体は、SM400 級の鋼材で、形状は図-1 の様に中央に径 16 mm の円孔がある。まず、円孔つき鋼材の塑性域の進展状況、引張り強さ、伸び、破断状況などを調べるために静的引張り試験を行った。なお、塑性変形の詳細を観察するために縦 2.5 mm×28、横 2.5 mm×20 の正方形メッシュを画いた。次に、大気、真水、塩水の各環境下で疲労試験を行った。応力波形はチャック部のネジの緩み防止のため下限応力、9.8MPa の正弦波とした。また、腐食環境下での疲労試験では、試験体にプラスチック槽（腐食槽）を取り付け、円孔の下縁部に真水または 3% 塩水を毎分 10ml の割合で滴下させた。次に、予め引張り試験機により所定の塑性変形（予歪み）を与えた試験体に対しても同様の試験を行った。標点間距離の伸びとして、中央の円孔に変形が認められる程度の伸び 1.0mm、2.0mm および 3.0mm をそれぞれ、予歪み-1、予歪み-2 および予歪み-3 とした。また FEM 解析は、図-2 に示す様なメッシュで弾塑性域の解析を行い、鋼材の塑性域の進展状況を調べると共に、円孔下縁部の応力集中係数も調べた。なお解析では、4 辺形平面応力状態を用い、節点数は 440、要素数は 400 のメッシュとした。

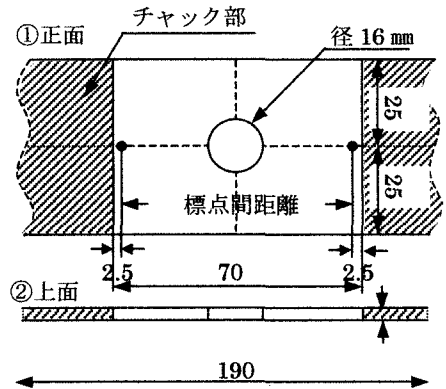


図-1 試験体の形状 単位mm

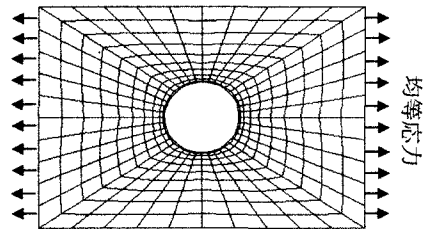


図-2 FEM 解析のメッシュ分割

3. 実験結果と考察

静的引張り試験による円孔つき鋼材の塑性変形と FEM 解析によるそれとを比較した結果、多少差が認められたが、これは解析において仮定した応力-ひずみ曲線と実際の鋼材のそれとの相違によるものと考えられる。

キーワード：疲労、塩水環境、塑性変形、応力集中係数

連絡先：〒326-8558 足利市大前町 268-1 TEL0284-62-0605 FAX0284-64-1061

疲労試験においては、円孔つき鋼材の各環境下での破断 S-N 線図は、図-3 に示す様に、高応力短寿命の領域では差があまりなく低応力長寿命の領域では差が大きく、大気中、真水、塩水の順に低くなる。

塑性変形を与えた試験体による疲労試験の結果は、図-4 に示す様に、疲労強度は円孔が最も小さく、予歪み-1、予歪み-2、および予歪み-3 の順に大きくなる。この疲労強度の相違の原因としては、孔の曲率の変化や材質の変化などが考えられる。

表-1 応力集中係数

		円孔	予歪み-1	予歪み-2	予歪み-3
応力集中係数	1)	2.31	2.12	1.87	1.69
	2)	2.31	2.17	2.01	1.88

注 1)は弾塑性解析での孔の形状による
2)は試験体で測定した孔の形状による

塑性変形を与えた孔の形状の応力集中係数を求めるのに、実際の試験体の変形した孔の形状と弾塑性解析のそれとに差が認められたので、試験体の孔の形状を写して弾性 FEM 解析を行い、亀裂発生部の応力集中係数を求めた結果、表-1 の様に円孔、予歪み-1、予歪み-2 および予歪み-3 の順に減少した。各予歪みの破断 S-N 線図をその応力集中係数と円孔の応力集中係数との比により補正したものを図-6 に示す。即ち、予歪み-1 の場合、その破断 S-N 線に (2.17/2.31) を乗じて線を下げた。図-6 に示す様に各予歪みは、ほぼ等しくなるが、円孔より多少疲労強度は大きくなる。しかし、ここで円孔は塑性変形を受けていないので、この影響を考慮して比較するために、標準試験体に予歪み-2 と同様の塑性変形を与えて疲労試験を行った結果、図-5 の様に疲労強度は幾分上昇した。そこで、円孔の破断 S-N 線に対して、この上昇率分だけ補正したところ、図-6 における、「材質変化の補正をした円孔」の線となった。その結果、すべての破断 S-N 線は、かなり良い一致が認められた。

4. まとめ

- 1) 腐食環境下における鋼材の疲労強度の影響が求められた。
- 2) 孔の曲率に対する補正と材質の変化に対する補正を行えば、異なる塑性変形を与えた円孔つき鋼材は、ほぼ同一の破断 S-N 線となることが分かった。

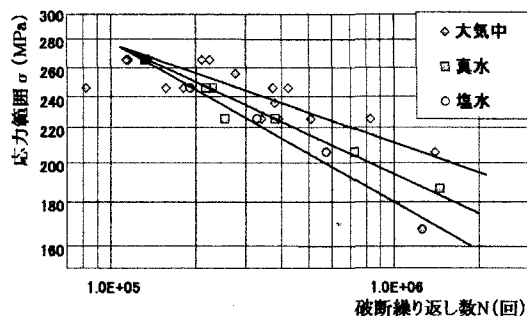


図-3 破断 S-N 線図 (各環境下)

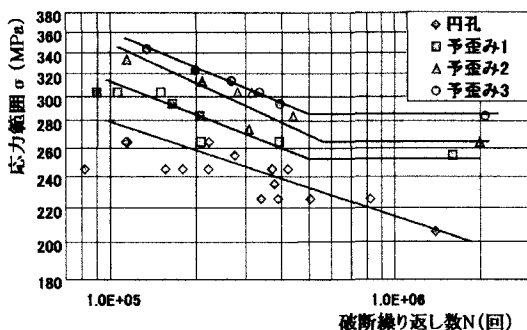


図-4 破断 S-N 線図 (各予歪み)

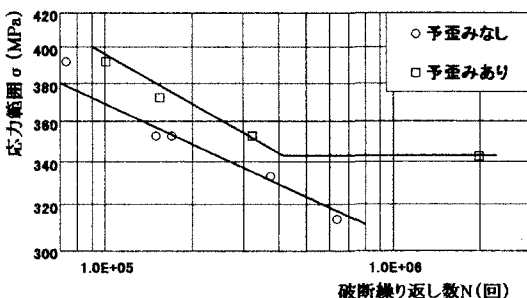


図-5 破断 S-N 線図 (標準試験体)

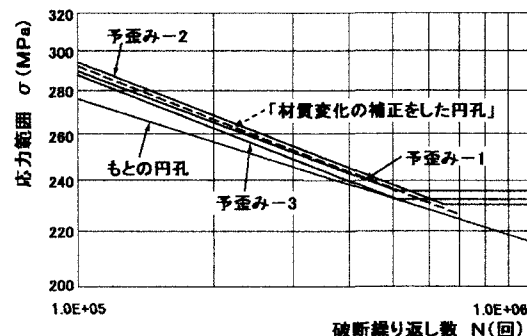


図-6 補正した破断 S-N 線図