

孔あき鋼材の腐食疲労

足利工業大学工学部 正会員 末吉 達也

足利工業大学工学部 正会員 阿部 英彦

1. はじめに

通常、鋼構造の疲労寿命は、大気中での疲労実験結果を基に評価される。しかし、我が国では地形上、鉄道や道路などの橋梁が海浜に隣接して建設される場合が多く、波しぶきや潮風を受ける過酷な環境下にある。防錆塗装も施されているが、塗装の劣化も著しいので、腐食環境下での疲労寿命を定量的に調べておくことが必要である。又、橋に種々の大きさの荷重が加わる場合の効果についてマイナー則(直線被害則)がしばしば利用されているが、腐食環境下でのこの法則の適応性を調べるのが重要である。

本研究では、まず基本的に腐食環境下における定荷重繰り返しの疲労強度を求めた。次に、マイナー則の検証のために、大小数種類の応力範囲を組み合わせた2段階疲労試験を行った。また、試験片の弾性域での応力および塑性ひずみの進展状況を調べるためにFEMによる解析も試みた。

2. 実験および解析方法

試験体に使用した鋼材はSS400で、その形状は図-1の様に中央に円孔がある。腐食環境としては試験体を横方向に挟み込む形でアクリル製樹脂の水槽を取り付け、円孔部の下側だけに塩水(3%NaCl)および、真水(蒸留水)を流量 10ml/minで滴下した。また、比較のため大気中の試験も行った。疲労試験における荷重波形は正弦波で16Hz(新幹線車両通過に近似)を標準とし、応力変動は下限応力を1.0kgf/mm²とした部分片振り引張りとした。

弾塑性解析では、試験体の形状の対称性から図-2に示す様に試験体の1/4部分に着目してFEM解析を行った。なお、節点数658、要素数1240のメッシュに分割した。

3. 実験結果と考察

まず、基本となるS-N線図を求めるために、一連の一定応力振幅の疲労試験を行った。大気中、真水および3%塩水の3本のS-N線が図-3の様に得られた。大気中と3%塩水のS-N線を比較すると、3%塩水の方が下方にあり、かつ勾配が急である。低応力の範囲では、

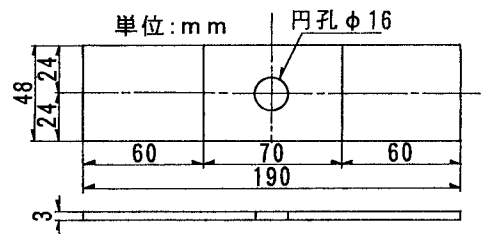


図-1 試験片の形状

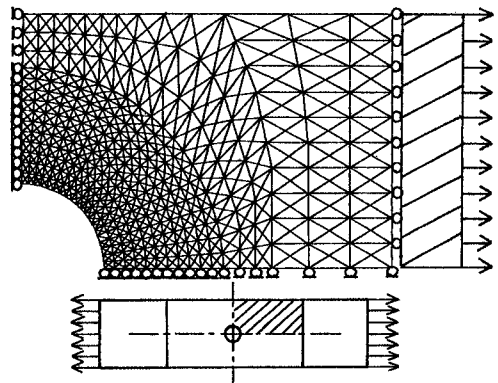


図-2 FEM解析メッシュの切り方

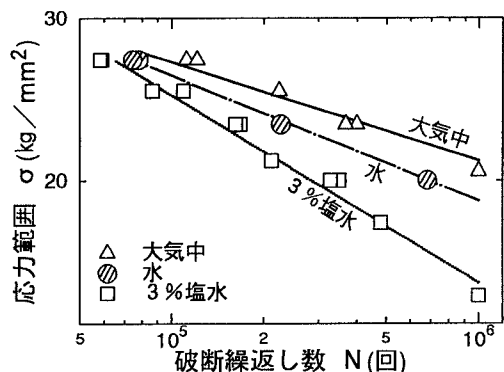


図-3 破断S-N線図

腐食環境下に置かれる時間が長くなるので、腐食の影響がより大きくなるものと判断できる。これに対し高応力の範囲で差が小さいのは経過時間が短いため腐食の影響が小さいためと考えられる。この様に、破断寿命は腐食によって相当短くなるが、真水でもかなり影響があり、大気中と3%塩水（腐食環境下）との中間に位置した。

マイナー則は応力変動範囲 σ をN回受けて破壊するとき、n回の応力変動を受けると n/N だけ疲労被害が蓄積し、種々の応力を受ける場合、その合計 $n_1/N_1 + n_2/N_2 + \dots = m$ の和が1に達したときに破壊が生じるという仮定である。そこで、大小の荷重の順序の影響を見るため表-1の様にHおよびLの応力範囲と繰返し数を設定した。HとLの差は3%塩水の場合、6.0kgf/mm²、真水の場合、4.5kgf/mm²としたが、いずれの場合もHはLのほぼ4倍の繰返し数の効果を持つと推測される。荷重変動のパターンは図-4に示す様に即ち、HL試験、LH試験とも第1段階の荷重は図-3を参考として全体の1/2の疲労効果を及ぼすと推測される回数だけ繰返した後、第2段階の荷重を破壊まで繰返した。2段2重試験および2段多重試験の結果を図-5に示す。2段2重試験では3%塩水の場合、HL試験、LH試験ともmの平均値は1より大きい、真水では1に極めて近かった。2段多重試験の結果は2段2重試験よりも一般的にm=1に近似していた。

弾性域での解析によれば、円孔部を通る断面の平均応力 $\sigma = 75.5\text{kgf/mm}^2$ に対して円孔部応力は $\sigma = 177.5\text{kgf/mm}^2$ であり、約2.35倍の応力集中を示す。弾塑性解析では塑性化の方向は円孔部を通る最小断面の方向ではなく、約30度傾斜していた。しかし亀裂の進展につれて解析を繰返した場合、異なった状況になる可能性がある。

4. まとめ

実施した試験範囲結果から得られた結論を以下にまとめる。

- (1) 累積繰返し数比にある程度のばらつきが見られたものの実用的には、マイナー則が適用できる。
- (2) 一般的に2段2重試験よりも2段多重試験の方がマイナー則に近似していた。また、2段2重試験の真水の場合は $m = 1$ に近かった。
- (3) FEM解析によれば本試験体の円孔部の弾性域としての応力集中は約2.35倍であり、塑性化は円孔部斜め約30度の方向に進展する。

表-1 応力範囲および繰返し数

試験種別	試験条件	1次応力: σ_1 2次応力: σ_2 (kgf/mm ²)	繰返し数 n_1 n_2
HL	塩水	$\sigma_1 = 2.6$ $\sigma_2 = 2.0$	37000 破断まで
	水	$\sigma_1 = 2.6$ $\sigma_2 = 21.5$	50000 破断まで
LH	塩水	$\sigma_1 = 2.0$ $\sigma_2 = 2.6$	158500 破断まで
	水	$\sigma_1 = 21.5$ $\sigma_2 = 2.6$	200000 破断まで
HL多重	塩水	$\sigma_1 = 2.6$ $\sigma_2 = 2.0$	11000 44000
	水	$\sigma_1 = 2.6$ $\sigma_2 = 21.5$	12000 48000
		$\sigma_1 = 2.0$ $\sigma_2 = 2.6$	44000 11000
	水	$\sigma_1 = 21.5$ $\sigma_2 = 2.6$	48000 12000

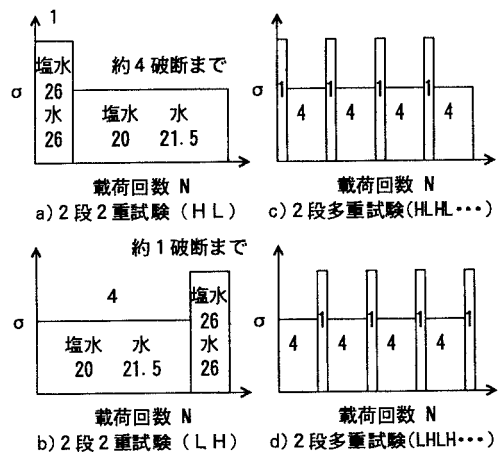


図-4 荷重変動パターン

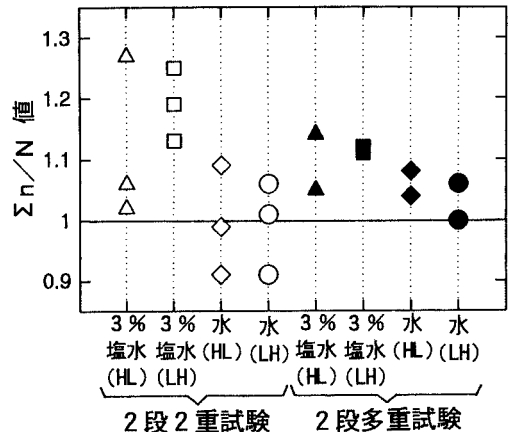


図-5 $\Sigma n/N$ 値の試験結果