

係留用高張力鋼の海水中フレッティング疲労 論文

中沢興三*・角田方衛*・丸山典夫*²・河部義邦*

Fretting Fatigue of High Strength Steels for Chain Cables in Sea Water

Kozo NAKAZAWA, Masae SUMITA, Norio MARUYAMA and Yoshikuni KAWABE

Synopsis:

Fretting fatigue tests of high strength steels having ultimate tensile strengths of 490, 690 and 880 MPa were carried out in sea water under free corrosion condition, and the effect of fretting damage on fatigue life was investigated. At high stress amplitude, the higher the strength of steel, the longer the fretting fatigue life. At low stress amplitude, the fretting fatigue life of all the steels decreased to 10-20% of the conventional corrosion fatigue life and showed almost the same life irrespective of the strength of steel. The fretting fatigue life in sea water was much shorter than that in air, and the fretting fatigue strength at 10^7 cycles was lower in sea water than in air. The saturation of fretting fatigue damage occurred beyond a certain number of fretting cycles. The ratio of the smallest number of fretting cycles to the fretting fatigue life for the saturation to occur in sea water was less than 0.005%, but that in air was about 30%. It was shown that the fatigue life in sea water was lowered by the fretting damage of a small number of fretting cycles.

Key words: fretting fatigue; high strength steel; sea water; free corrosion; saturation of fretting fatigue damage.

1. 緒 言

海洋資源開発や海洋空間利用あるいは海洋エネルギー利用のための海洋構造物にとって、位置保持のため係留系は不可欠な要素である。この係留系に使われるチェーンやワイヤーには、海底の土砂や岩石と接触したり材料どうしが互いに接触した状態で波浪による繰返し荷重が加わるので、接触部において微小な相対すべりによるいわゆるフレッティング損傷を受けてそれらの疲労強度は低下することが懸念される。海洋環境下におけるこのフレッティング疲労特性を正確に把握することは、係留系の安全性を確保し、信頼性の向上を図る上で重要である。鋼のフレッティング疲労特性に関しては、これまで試験環境として大気中の場合の研究報告^{1)~6)}が多く、大気中ではフレッティング疲労強度は通常の疲労強度より著しく低下することが知られている。腐食環境下における鋼のフレッティング疲労に関しては、ステンレス鋼について NaCl 水中フレッティング疲労寿命は電気防食により向上するという報告⁷⁾がある。しかし、海水環境下の場合の報告はこれまで見受けられず、鋼の海水中フレッティング疲労に関しては不明の点が多い。

本研究は、490~880 MPa(50~90 kgf/mm²)級の係留用高張力鋼について海水中自然腐食下および大気中でフレッティング疲労試験を行い、フレッティングの関与しない通常の疲労特性と比較することにより、海水中フレッティング疲労特性を把握し、海水中腐食疲労におよぼすフレッティング損傷の影響を検討したものである。

2. 実験方法

供試材として引張強さが 490, 690 および 880 MPa (50, 70 および 90 kgf/mm²) 以上の 3 種のチェーン用鋼を用いた。490 および 690 MPa 級鋼は JIS 規格 SBC 50 および SBC 70 に準じたものである。880 MPa 級鋼は特に規格化されていないが、素材メーカーの報告⁸⁾⁹⁾を参考にして選定した。これらの化学成分を Table 1 に示す。各鋼種とも高純度原材料を用いて真空高周波溶解にて 20 kg 鋼塊に溶製した。これら鋼塊は 1473 K-3.6 ks 加熱後鍛造により 60 mm 角とし、さらに 1473 K-7.2 ks 加熱後熱間圧延により直径 25 mm の丸棒にした。490 MPa 級鋼素材は圧延ままとした。690 および 880 MPa 級鋼素材は、ソルトバスを用いて 1173 K-7.2 ks 加熱後空冷→1153 K-3.6 ks 加熱後水冷→838

昭和 60 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 62 年 5 月 6 日受付 (Received May 6, 1987)

* 金属材料技術研究所筑波支所 工博 (Tsukuba Laboratories, National Research Institute for Metals, 1-2-1 Sengen Tsukuba 305)

*2 金属材料技術研究所筑波支所 (Tsukuba Laboratories, National Research Institute for Metals)

Table 1. Chemical composition of steels used (mass%).

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	Fe
490 MPa grade	0.25	0.29	1.20	0.002	0.002	—	—	—	—	0.059	Bal.
690 MPa grade	0.32	0.38	1.40	0.002	0.002	—	—	—	—	0.053	Bal.
880 MPa grade	0.18	0.32	1.26	0.001	0.003	1.04	0.60	0.49	0.26	0.059	Bal.

Table 2. Mechanical properties of steels used.

	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_B (MPa)	ϕ (%)	δ (%)
490 MPa grade	364	540	75	29
690 MPa grade	682	808	71	17
880 MPa grade	917	1010	70	15

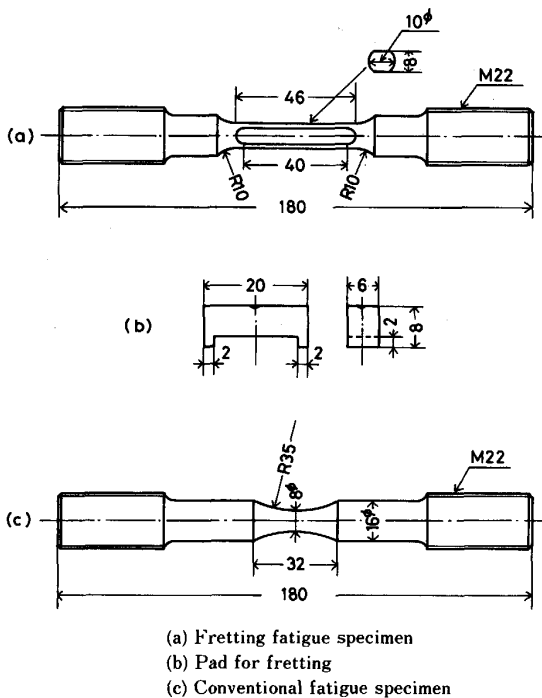


Fig. 1. Specimen dimensions.

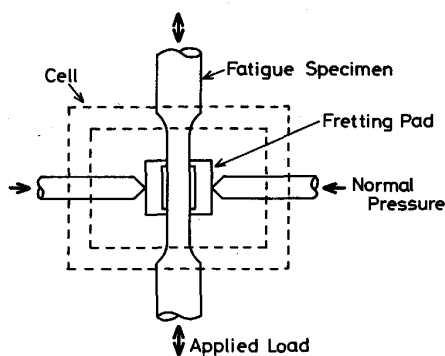


Fig. 2. Schematic representation of fretting fatigue test.

K-3.6 ks 加熱後水冷の焼入れ焼もどし処理を行った。これら素材の機械的性質を Table 2 に示す。

Fig. 1(a), (b) および (c) にフレットング疲労試験片、パッドおよび砂時計型疲労試験片の寸法形状を示す。Fig. 2 にフレットング疲労試験を模式的に示す。

フレットング疲労試験片の平滑部に平行に切り出した両側面にブリッジ型のパッドを一定の力で押し付けた状態で試験片に繰返し荷重を加えると、試験片の伸縮に対してパッドの変形はわずかであるので、試験片とパッドの接触部で微小な相対すべりを生じフレットング損傷が付与される。各鋼のフレットング疲労試験において、パッドおよびパッドの押付け棒は試験片と同一の素材を用いた。通常の疲労寿命は砂時計型疲労試験片(切欠係数 $K_t=1.08$)を用いて調べた。試験片表面およびパッドの接触面は0番エメリー紙で研磨した後、アセトンで脱脂して試験に供した。

試験には容量 10 t の電気油圧サーボ式の疲労試験機を用いた。パッドの押付け力は試験機本体油圧源から分岐した油圧を利用して小型アクチュエーターにより付与した。フレットング疲労試験は、パッドの接触面圧を 80 MPa (8.2 kgf/mm²) 一定とし、繰返し速度 20 Hz、正弦波形、引張り引張りの応力比 $R=0.1$ の荷重制御で行った。大気中フレットング疲労寿命は接触面圧が増加すると低下するが、その低下の程度はある接触面圧以上で飽和するといわれている¹⁰⁾。鋼の大気中フレットング疲労寿命試験を接触面圧を変化させて行った結果⁶⁾¹¹⁾によれば、ここで用いた接触面圧の値はほぼこの飽和点に相当する。また鋼の海水中フレットング疲労挙動をなるべく短期間で調べるために繰返し速度として 20 Hz を選んだ。砂時計型試験片の疲労試験もフレットング疲労試験と同一の条件で行った。海水中試験は透明アクリル製腐食槽を用いてフレットング部が海水に浸漬するようにした。海水は ASTM D1141-52 による人工海水(約 100 l)を用い、pH を 8.2 とし、常時水槽内でよく攪拌し、また空気をバブリングにより飽和溶解させた。海水の温度は 298 ± 0.2 K ($25 \pm 0.2^\circ\text{C}$) に制御した。腐食槽への海水の供給は流量毎分 1 l で行い、これを水槽に戻して循環させた。大気中の試験もすべて室温 298 K で行った。なお、パッド端部と試験片間の相対すべり振幅は特殊な小型伸び計を用いて測定した。またパッドと試験片間の摩擦力は、パッド中心部の側面にひずみゲージを貼り付けて測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 フレットング疲労特性

880 MPa 級鋼の大気中および海水中自然腐食下（以後、単に海水中と呼ぶ）におけるフレットイング疲労および通常疲労の S-N 曲線を Fig. 3 に示す。大気中の場合、 10^7 回の応力振幅は通常疲労で約 400 MPa であるが、フレットイング疲労ではその 1/2 の約 200 MPa に低下する。海水中の場合も、通常疲労に比べてフレットイング疲労寿命は短く、高応力振幅より低応力振幅で寿命の低下が著しい。 10^7 回の応力振幅は通常疲労で約 150 MPa であるが、フレットイング疲労では 100 MPa 以下に低下する。フレットイング疲労寿命を大気中と海水中で比較すると、応力振幅が高いところでは両者の差はほとんど認められず、200 MPa 以下では海水中の方が大気中より著しく寿命が低下する。

690 MPa 級鋼および 490 MPa 級鋼の大気中および海水中におけるフレットイング疲労および海水中通常疲労の S-N 曲線を、それぞれ Fig. 4 と Fig. 5 に示す。880

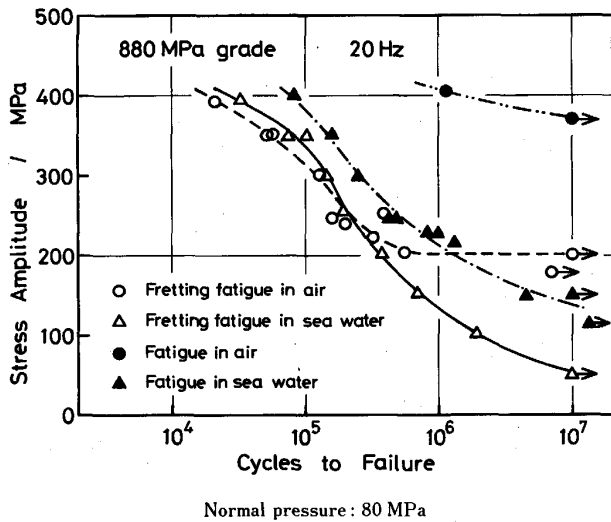


Fig. 3. S-N curves for 880 MPa grade steel.

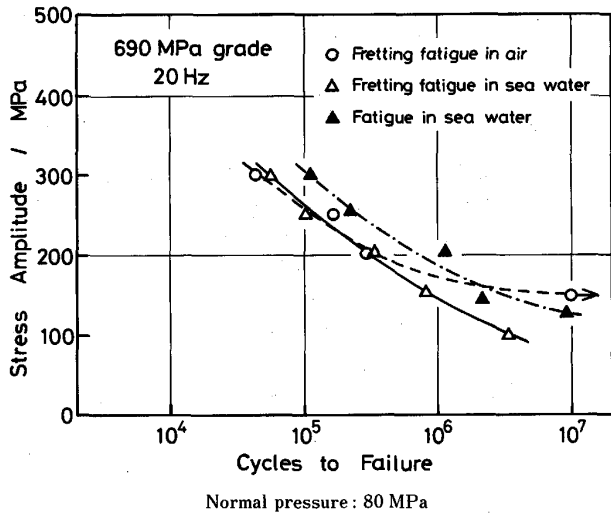


Fig. 4. S-N curves for 690 MPa grade steel.

MPa 級鋼の場合と同様に、両鋼の海水中フレットイング疲労寿命は海水中通常疲労寿命に比べて著しく短い。また、フレットイング疲労寿命は、応力振幅が高いと大気中と海水中でほとんど差はないが、100~150 MPa 以下では海水中の方が大気中より寿命が低下する。

Fig. 6 は各鋼の海水中通常疲労寿命、大気中および海水中フレットイング疲労寿命を比較したものである。海水中フレットイング疲労寿命について、高応力振幅では強度の高い鋼ほど寿命は長いですが、100 MPa 以下の低応力振幅では各鋼間に寿命の差はほとんどなく強度水準の影響はない。大気中フレットイング疲労寿命は全応力

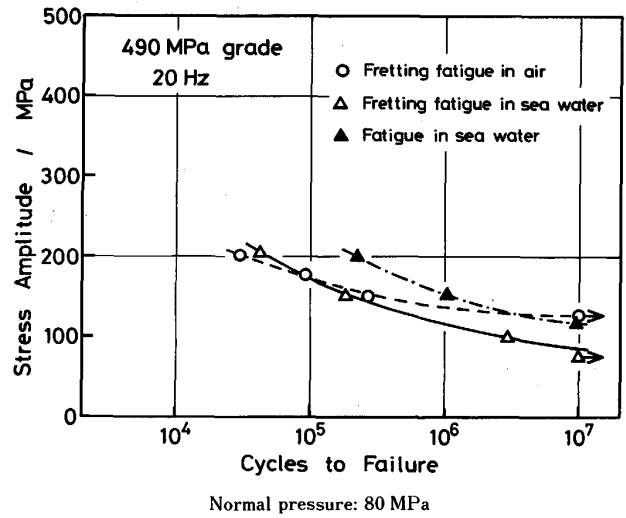


Fig. 5. S-N curves for 490 MPa grade steel.

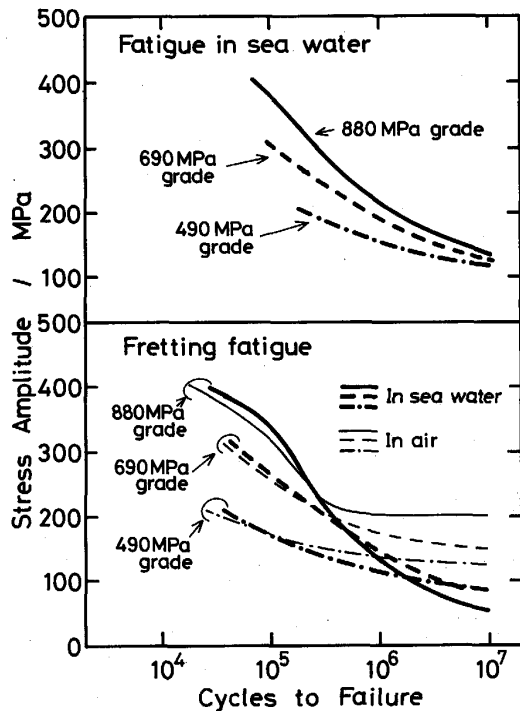


Fig. 6. Comparison of S-N curves for three steels.

振幅にわたり強度の高い鋼ほど長い。海水中通常疲労寿命は、高応力振幅では強度の高い鋼ほど長く、低応力振幅では鋼種間の差がなくなり、 10^7 回疲労強度はすべて約 150 MPa となる。Fig. 6 に示された海水中フレット疲労の強度水準依存性は海水中通常疲労のそれに類似している。

Fig. 7 は各鋼の海水中における通常疲労寿命に対するフレット疲労寿命の割合を応力振幅を横軸として示したものである。高応力振幅では、880 および 690 MPa 級鋼のフレット疲労寿命は通常疲労寿命の約 50~60% で、応力振幅の低下とともにその割合は減少する。150 MPa 以下の応力振幅では、490 MPa 級鋼も含むすべての鋼についてその割合は 10~20% にまで低下する。このように海水中でフレット疲労寿命が通常疲労寿命より著しく低下するのは、3.5 で述べるようにフレット疲労によつてき裂発生寿命が低下するためと考えられる。

3.2 相対すべり量

フレット疲労試験片とパッド端部間の相対すべり振幅を 880 MPa 級鋼について大気中応力振幅 400 MPa 以下にて測定した結果、相対すべり振幅は応力振幅に比例して増大した。この時の単位応力振幅当たりの相対すべり振幅は $0.05 \mu\text{m}/\text{MPa}$ で、パッドを剛体として求めた計算値とほぼ一致した。この相対すべり振幅と応力振幅の関係は、本実験におけるような降伏応力以下の繰返し応力振幅域では、海水中においても、また 490 MPa および 690 MPa 級鋼においても上と同様と考えられる。

大気中フレット疲労の場合、相対すべり振幅が約 $20 \mu\text{m}$ の時にその寿命は最低を示すと報告されている²⁾⁴⁾。本実験では応力振幅が 400 MPa の時、相対すべり振幅は約 $20 \mu\text{m}$ である。海水中フレット疲労寿命は、Fig. 7 に示したように応力振幅が 200 MPa 以

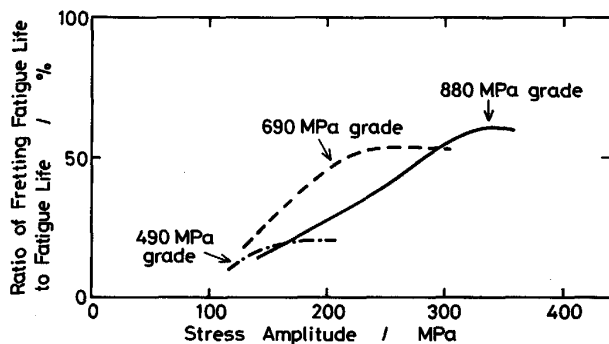


Fig. 7. Ratio of fretting fatigue life to conventional fatigue life in sea water as a function of stress amplitude for three steels.

下、すなわち相対すべり振幅が $10 \mu\text{m}$ 以下の時でも海水中の通常疲労寿命に比べて著しく短い。海水中フレット疲労におよぼす相対すべり振幅の影響については今後さらに検討する必要がある。

3.3 摩擦係数

大気中のフレット疲労におけるき裂の発生箇所はフレット疲労の摩擦力によつて接触面に生ずる応力集中部でおこり、その発生条件は接触面における接触応力とそこに加えられる繰返し応力に依存すると考えられている¹²⁾。この場合、同じ接触面圧であれば、摩擦係数が大きいほど摩擦力は大きく接触応力も大きいので応力集中が大きくなり、き裂の発生が容易となる。このようにフレット疲労き裂の発生挙動と摩擦係数は密接な関連をもつと考えられるので、摩擦係数をフレット疲労試験と同一条件下で測定した。パッドと試験片間の摩擦力振幅を F 、押付け力を P とすると、摩擦係数 μ は、 $\mu = F/P$ で定義される。

Fig. 8 は各鋼の大気中および海水中における摩擦係数を応力振幅の変化に対してプロットしたものである。摩擦係数は繰返し数によつて若干変化した。ここに示すものは摩擦係数がほぼ一定となる 10^3 回以上の繰返し数で測定したものである。なお、測定した応力振幅範囲では応力振幅と相対すべり振幅は比例関係にあつたので、相対すべり振幅も応力振幅と並べてスケール表示し

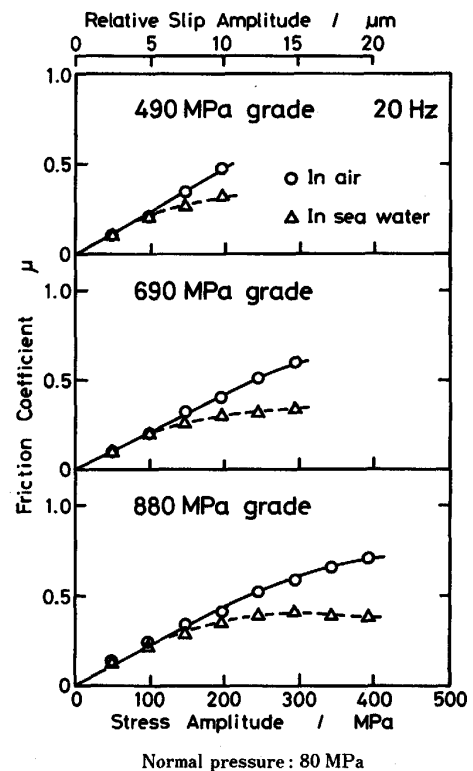


Fig. 8. Friction coefficient during fretting of three steels.

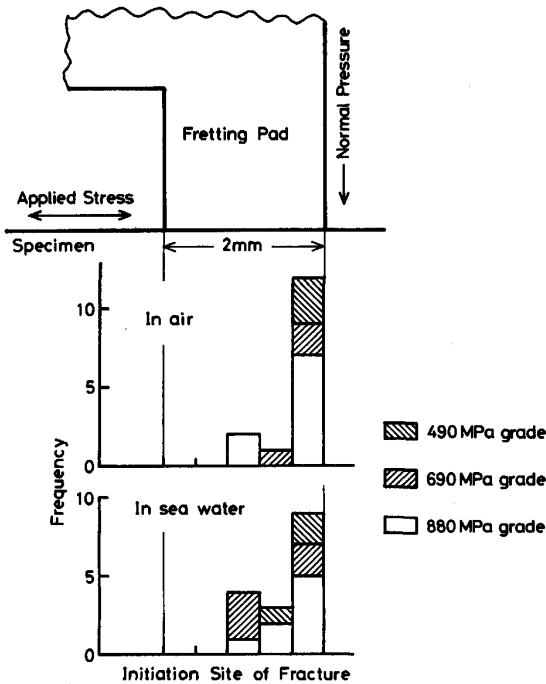


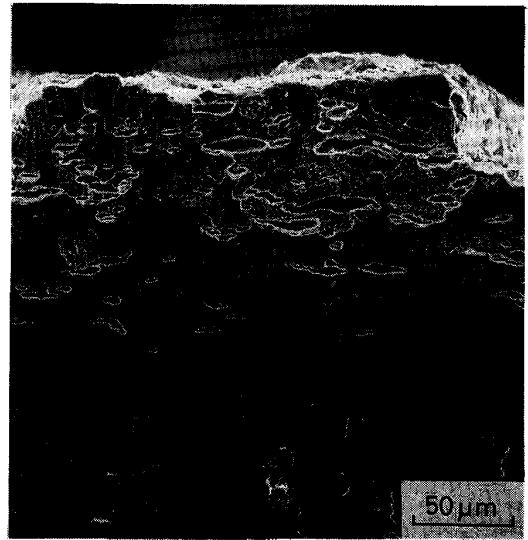
Fig. 9. Initiation sites of fracture in fretting fatigue specimens shown in Fig. 3, 4 and 5.

た。各鋼とも応力振幅の低い時、摩擦係数は大気中および海水中で変わらず、応力振幅に比例して増加する。また鋼種間にあまり差は認められない。応力振幅の高い時、海水中の摩擦係数は大気中のそれより小さく、それぞれ応力振幅の増加とともに飽和して一定値に近づく傾向を示し、飽和を示す応力振幅は海水中的の方が低い。880 MPa 級鋼の場合、摩擦係数の飽和値は大気中で約 0.7、海水中で約 0.4 である。海水中で摩擦係数が小さいのは、海水および腐食生成物の潤滑効果によると考えられる。

3.4 き裂の発生状況

フレット疲労試験片は、4箇所あるフレット損傷付与部分のうち最も早くき裂が発生し進展した部分が起点となつて破断する。Fig. 3, Fig. 4 および Fig. 5 に示した破断試験片全部について、破断の原因となつた主き裂発生起点を観察した。Fig. 9 はフレット接触面を繰返し応力軸方向に 5 等分した場合の主き裂の発生起点の頻度分布を示したものである。大気中の場合、き裂の起点は大部分がパッド接触面内の外側端部で、従来報告されている⁵⁾⁶⁾とおりでである。海水中的の場合、き裂の起点は外側端部から少し内側に入った部分あるいは中央部分にも多いが、大気中の場合同様外側端部に最も多い。

Photo. 1 に海水中、応力振幅 350 MPa で接触面の外側端部をき裂の発生起点として破断した試験片のき裂発



Cycles to failure: 1.0×10^5
Photo. 1. Scanning electron micrograph of fretted surface near the initiation site of fracture in 880 MPa grade steel specimen tested in sea water at a stress amplitude of 350 MPa.

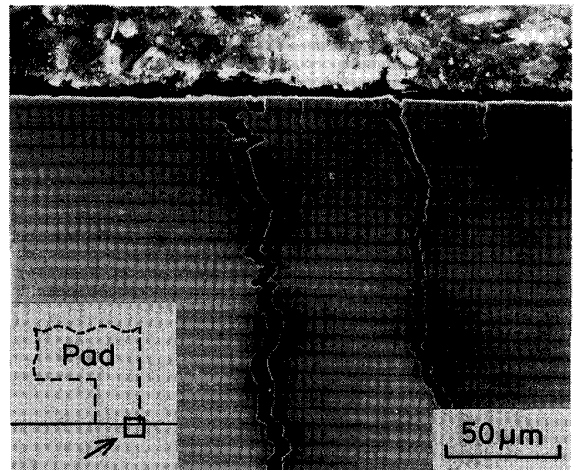


Photo. 2. Longitudinal section through fretting scars in the same specimen as shown in Photo. 1. Fretting scars different from fractured site is shown. An arrow indicates the section observed.

生点近傍のフレット接触面を示す。接触面内部に比べて接触面内端部付近では腐食を受ける度合いが大きく、主き裂のほかにも多数の微小き裂が発生している。Photo. 2 に、Photo. 1 と同じ試験片の破断部以外のフレット損傷部外側端部近傍を、接触面に垂直でかつ繰返し応力軸方向に平行な面で切断した縦断面を示す。き裂は発生初期から接触面と直角方向に進展している。Photo. 3 に、大気中、応力振幅 351 MPa で破断した試験片の破断部以外のフレット損傷部外側端部についての縦断面を示す。大気中の場合、き裂はその発

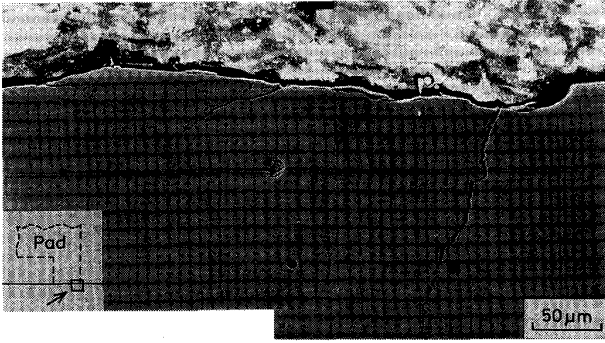


Photo. 3. Longitudinal section through fretting scars in 880 MPa grade steel specimen tested in air at a stress amplitude of 351 MPa. Cycles to failure : 5.5×10^4 . An arrow indicates the section observed.

生初期には接触面に対して 45° より小さな角度で進展するが、き裂が長くなるとともにその進展方向を接触面に対して直角方向に変える。端部近傍の著しく摩耗した部分に存在する長いき裂の発生初期の角度は摩耗によって母材が消失しているため不明であるが、摩耗による母材消失の少ない部分のき裂同様と思われる。

フレットング疲労によって発生したき裂は接触面とある角度をなし、その角度は接触面における押付け力、摩擦力および繰返し応力を組み合わせた応力状態に依存すると考えられている³⁾¹²⁾。したがってき裂は接触面から離れるに従いフレットングの影響を脱して接触面に直角に進展する。Photo. 3 に示した試験片の場合、フレットングが影響をおよぼす領域の大きさはき裂進展方向の変化から考えて表面から約 $100 \mu\text{m}$ 程度と推定される。このように、フレットング疲労におけるき裂進展初期段階は、大気中ではフレットングによる組合せ応力作用下の力学的因子の影響が大きい。これに対し、海水中ではき裂進展初期からき裂は接触面に直角に進展しており、力学的因子の影響が小さい。海水中での力学的因子の影響が大気中と比べて小さいのは、主として海水中での接触面の摩擦係数が大気中より小さいためと考えられる。

3.5 き裂発生寿命

疲労寿命はき裂の発生寿命と伝播寿命に分けられる。フレットング疲労寿命におけるこれら中味を調べ、疲労寿命におよぼすフレットング損傷の影響を調べるため、ある繰返し数だけフレットング疲労試験をした後、フレットング用パッドを取りはずし、引き続き同一応力振幅で通常の疲労試験に移行する寿命試験を行った。880 MPa 級鋼について、大気中で応力振幅 250 MPa にて、また海水中では応力振幅 250 MPa と 150 MPa の 2 条件で行った。その結果を Fig. 10 に示す。図の横軸は

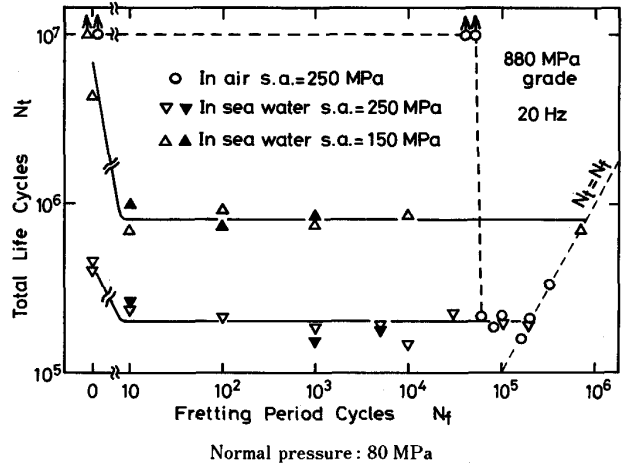


Fig. 10. Effect of fretting period cycles on total life cycles for 880 MPa grade steel. s.a. means stress amplitude. Closed symbols (\blacktriangledown and \blacktriangle) show the data in which fretting damage was given in air and subsequent fatigue test without fretting was carried out in sea water.

フレットング疲労繰返し数 N_f 、縦軸はフレットング疲労繰返し数を含む全寿命の繰返し数 N_t を表す。 $N_t = N_f$ の線上的実験点は純フレットング疲労寿命を、 $N_f = 0$ 上の実験点はフレットングの関与しない通常の疲労寿命を示す。なお図中黒三角印 (\blacktriangle および \blacktriangledown) は、大気中でフレットング疲労試験後ただちに海水中でフレットングの関与しない通常の疲労試験に移行した結果を示す。大気中の場合、 5×10^4 以下の N_f では N_t は 10^7 より大である。 N_f が 6×10^4 になると N_t は約 2×10^5 まで急激に低下するが、 N_f がそれ以上増加しても N_t は変化しない。この場合の N_t の値約 2×10^5 は純フレットング疲労寿命にほぼ等しい。すなわち、フレットング疲労繰返し数を増加してもフレットング損傷被害は飽和しており、被害が飽和する下限界のフレットング疲労繰返し数（この繰返し数を以後限界繰返し数と呼ぶ）は 6×10^4 である。 N_t の急激な低下はフレットング損傷によるき裂の発生に対応すると考えられる。そこで同じ応力振幅で所定の繰返し数だけフレットング疲労を施した試験片のフレットング損傷面を走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察した結果、繰返し数 4×10^4 以上のフレットング損傷によりき裂が発生していることが確認された。 $4 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ 回のフレットング損傷では N_t が 10^7 より大きいことから、この繰返し数の損傷で発生したき裂は停留き裂と考えられる。限界繰返し数 6×10^4 は、フレットングなしでも伝播可能なき裂の発生に対応し、それは全寿命 (2×10^5) の約 30% に相当する。このき裂発生寿命は本実験と同様な方法で鋼について従来得られている値¹⁾³⁾⁶⁾と

ほぼ一致している。 6×10^4 以上の N_f で N_t が変化せず純フレット疲労寿命に一致することから、伝播可能なき裂発生後のき裂伝播はフレット疲労の影響を受けないと考えられる。

一方、海水中の場合、応力振幅が 150 MPa および 250 MPa において 10 回の N_f でも全寿命 N_t は低下し、その値は純フレット疲労寿命に一致する。すなわち、フレット疲労損傷被害が飽和する限界繰返し数は小さく、10 回は全寿命の 0.005% 以下に相当する。応力振幅 250 MPa の試験片についてフレット疲労面を SEM で観察した結果、 $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$ のフレット疲労繰返し数ではき裂は存在せず、フレット疲労によってその生成が促進されたと考えられる腐食ピット状のものが多数認められた。 4×10^4 の繰返し数ではこの腐食の促進された部分にき裂が認められた。このように、全寿命を支配するフレット疲労損傷被害が $N_f = 10$ 回程度の試験初期にすでに形成されていたと考えられるが、その時点でき裂は発生していない。き裂の発生寿命 (4×10^4) は全寿命 (2×10^5) の 20% で残りの 80% (1.6×10^5) がき裂伝播寿命となる。

つぎに、前述と同じ応力振幅 250 MPa における海水中の通常疲労についてき裂の発生と伝播の寿命を前述の結果から推定し、フレット疲労と比較する。まず前述の海水中フレット疲労繰返し数 4×10^4 回で発生したき裂と同じき裂が海水中通常疲労においてある繰返し数で発生し、それが伝播する場合を仮定する。Fig. 10 に示したように、海水中フレット疲労のき裂伝播はフレット疲労の影響を受けない。すなわち、通常疲労において仮定したき裂の伝播寿命は、フレット疲労におけるき裂伝播寿命に等しく、 1.6×10^5 となる。通常疲労において、全寿命は Fig. 10 より約 4×10^5 であり、これからき裂伝播寿命を差し引いたき裂発生寿命は 2.4×10^5 と計算される。したがってき裂発生寿命とき裂伝播寿命はそれぞれ 60% と 40% と推定される。このように海水中フレット疲労寿命と海水中通常疲労寿命の中味を比較すると、フレット疲労では通常疲労と比べてき裂発生寿命は極めて短く、それが全寿命に占める割合も低い。海水中フレット疲労寿命が海水中通常疲労寿命より著しく低下したのはき裂発生寿命が低下したためと考えられる。

大気中の場合と比べて海水中ではフレット疲労の限界繰返し数が極めて小さい。これが海水という腐食環境中でのフレット疲労損傷付与に起因するかどうかを調べるため、大気中でフレット疲労損傷を付与して後ただちに海水中でフレット疲労の関与しない通常疲労試

験を行った。海水中で損傷を付与した場合と同様、試験片はフレット疲労損傷部が主き裂の発生起点になつて破断した。Fig. 10 に示すように、大気中でのフレット疲労損傷付与が海水中通常疲労寿命におよぼす影響は、海水中での損傷付与の場合と同様である。このことは、フレット疲労被害飽和後の損傷部の海水中繰返し応力下における電気化学的な挙動がき裂発生に重要な役割を演じていること、そしてフレット疲労損傷被害はパッド付加によるすさま腐食の影響を受けていなかったことを示唆している。

3.6 海水中と大気中のフレット疲労の比較

海水中と大気中のフレット疲労挙動の相違はつぎのように要約できる。(1)フレット疲労損傷被害が飽和する限界繰返し数は、海水中では 10 回程度で、それは同じ応力振幅下の大気中の限界繰返し数の約 $1/10^4$ である。(2)大気中では限界繰返し数とき裂発生寿命はほぼ対応するのに対し、海水中ではそれらは対応せず、限界繰返し数はき裂発生寿命の $1/10^3$ 以下である。(3)大気中ではき裂は接触面に対して直角より小さな角度をもつて発生し、き裂が進展して長くなるとその進展方向を接触面に対して直角方向に変える。海水中ではき裂はその発生初期から接触面に対し直角方向に進展する。

大気中フレット疲労では、限界繰返し数とき裂発生との対応およびき裂の進展方向から考えて、き裂発生とき裂進展初期段階まではフレット疲労に付随する接触面圧、摩擦力などの力学的因子の影響が大きい。一方、海水中フレット疲労では、き裂発生寿命に比べて限界繰返し数は極めて小さい。限界繰返し数からき裂発生までの間は、損傷被害がすでに飽和しているため、き裂発生に対しフレット疲労下の力学的因子の影響は小さく、海水中繰返し応力下での損傷部の電気化学的な挙動が重要な役割を演じていると考えられる。また、き裂進展方向から考えて、き裂発生後のき裂進展に対しても力学的因子の影響が小さいと考えられる。このように力学的因子がフレット疲労におよぼす影響は海水中と大気中で異なる。本報では、接触面圧および繰返し速度を一定とし、相対すべり振幅が応力振幅に比例する試験条件下にてフレット疲労挙動を調べた。さらに海水中フレット疲労挙動におよぼすこれら因子の影響を把握することは重要であり、目下検討を進めている。

4. 結 言

引張強さが 490, 690 および 880 MPa 級の係留用高張力鋼について、海水中自然腐食下および大気中でフレット

ティング疲労試験を行い、フレッティングなしの通常の疲労特性と比較することにより、海水中フレッティング疲労特性を把握し、海水中腐食疲労におよぼすフレッティング損傷の影響を検討した。その結果をまとめるとつぎのとおりである。

(1) 海水中のフレッティング疲労寿命は海水中の通常疲労寿命より著しく短い。

(2) 海水中において、高応力振幅域では強度の高い鋼ほどフレッティング疲労寿命は長い。100~150 MPa の低応力振幅域では、鋼の強度の違いによる差はなくなり、すべての鋼のフレッティング疲労寿命は通常の腐食疲労寿命の 10~20% を示す。

(3) 海水中のフレッティング疲労寿命と大気中のそれとを比較すると、すべての鋼について、高応力振幅域では両者はほぼ同じ寿命を示すが、低応力振幅域では海水中の方が短寿命となり、 10^7 回のフレッティング疲労強度は海水中の方が著しく低い。

(4) 880 MPa 級鋼について、ある繰返し数だけフレッティング疲労試験を行った後、通常の疲労試験に移行して疲労寿命を調べた結果、大気中および海水中ともに寿命を支配するフレッティング損傷被害はある繰返し数以上で飽和した。損傷被害が飽和する下限界の繰返し数がフレッティング時の繰返し数も含んだ全寿命に占める割合は、大気中で約 30% であるのに対し、海水中では 0.005% 以下と極めて小さく、わずかなフレッティング

損傷によつて寿命が低下する。

最後に、フレッティング疲労試験について御教示をいただいた長岡技術科学大学 田中紘一教授および武藤睦治教授に感謝の意を表す。

本研究は科学技術庁の科学技術振興調整費による「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」の一環として行つた。

文 献

- 1) M. H. WHARTON, D. E. TAYLOR and R. B. WATERHOUSE: *Wear*, **23** (1973), p. 251
- 2) 西岡邦夫, 平川賢爾: 日本機械学会論文集, **34** (1968), p. 1183
- 3) K. ENDO and H. GOTO: *Wear*, **38** (1976), p. 311
- 4) D. J. GAUL and D. J. DUGUETTE: *Metall. Trans. A*, **11** (1980), p. 1555
- 5) K. TANAKA, Y. MUTOH, S. SAKODA and G. LEADBEATER: *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, **8** (1985), p. 129
- 6) 佐藤建吉, 藤井 孟: 日本材料強度学会誌, **18** (1984), p. 98
- 7) R. B. WATERHOUSE: *Fretting Fatigue*, ed. by R. B. WATERHOUSE (1981), p. 159 [Applied Science Publishers]
- 8) 垣見 昇, 田村英二郎, 守屋淳郎, 邦武立郎, 奥戸行一郎: 住友金属, **25** (1973), p. 527
- 9) 鈴木信一, 森 俊道, 原田武夫, 石井伸幸, 新田 宏: 製鉄研究, (1984) 314, p. 71
- 10) 西岡邦夫, 平川賢爾: 日本機械学会論文集, **37** (1971), p. 1051
- 11) 永田晃則, 松田 健, 柏谷英夫: 日本機械学会論文集 (A編), **53** (1987), p. 196
- 12) 西岡邦夫, 平川賢爾: 日本機械学会論文集, **34** (1968), p. 1635