

論 文

100kgf/mm² 級高張力鋼の海水中における
疲れき裂伝播速度への応力比の影響角田 方衛*・丸山 典夫*²・内山 郁*Effect of Stress Ratio on Fatigue Crack Growth Rate of 100kgf/mm²
Grade High Yield Strength Steels in Sea Water

Masae SUMITA, Norio MARUYAMA, and Iku UCHIYAMA

Synopsis :

The effect of sea water on fatigue crack growth rate of three kinds of 100 kgf/mm² grade high yield strength steels has been investigated using a parameter $\gamma_{0.167\text{Hz}} (\equiv (da/dN)_{\text{cor}} / (da/dN)_{\text{air}})$, where $(da/dN)_{\text{cor}}$ is a fatigue crack growth rate in sea water at the frequency of 0.167 Hz, and $(da/dN)_{\text{air}}$ is fatigue crack growth rate in air. Stress ratios of 0.10, 0.50, 0.70, and 0.90 have been used. The results are as follows ;

1) In 104 steel, the relationship between the value of $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ and JK are almost the same at the R -values of 0.10, 0.50, and 0.70. The same trend is also observed in 127 steel. The maximum values of $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ of two steels are about 2 and 4, which arise at the JK -values of 70 and 48 kgf/mm^{3/2} respectively, regardless of R within 0.10 to 0.70. The fracture surface shows a transgranular fracture mode with corrosion pits.

2) The degree of the effect of sea water on da/dN , therefore, are controlled by JK in 104 and 127 steels.

3) In 123 steel, the maximum value of $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ is 5.5 to 7.5 regardless of R . The value of JK and K_{max} to the maximum value of $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ decreases and increases respectively with increase of R -value. The degree of the effect of sea water on da/dN is controlled by JK and K_{max} . The fracture surface shows intergranular fracture mode due to hydrogen.

4) A lot of secondary cracks (branching) exists in 123 steel, which appear when the plastic deformation size at the crack tip is larger than the prior austenitic grain size. Branching of cracks gives no influences on the fatigue crack growth rates.

5) Dynamic K_{sec} is controlled by JK regardless of fracture mode.

1. はじめに

著者らは、先に¹⁾、HY 140 鋼、18Ni(200) マルエージ鋼などを用いて、海水の疲れき裂伝播速度への影響度を相対的に比較した。そして応力比、 R 、=0.10 として繰り返し速度、 f 、=0.167 Hz (海水の満干と同じオーダ) の場合、海水の疲れき裂伝播速度、 da/dN 、への影響度が大きいのは、応力拡大係数範囲、 JK 、=50~100 kgf/mm^{3/2} においてであり、 $JK < 20 \sim 40$ kgf/mm^{3/2} および $JK > 250$ kgf/mm^{3/2} ではあまり影響しないことなどを明らかにした。その際、鋼種間の海水の da/dN への影響度を比較するための値として、1本の試験片を用いて求めたパラメータ $\gamma_{0.167\text{Hz}} (\equiv (da/dN)_{\text{cor}} / (da/dN)_{\text{air}})$ を用いた。ここで $(da/dN)_{\text{cor}}$ は海水中における $f=0.167$ Hz (10 cpm) での da/dN 、 $(da/dN)_{\text{air}}$ は大気中での da/dN である。

上記パラメータを用いたのは、通常の熱処理を施した高張力鋼の大気中の da/dN - JK 曲線は、き裂伝播下限界値、 JK_{th} 、近くの極低 da/dN 領域を除いては、鋼種間で大差はないこと、同一鋼種でも大気中あるいは海水中で複数の試験片を用いて da/dN - JK 曲線を求めた場合ばらつきがあり、絶対値で海水の da/dN への影響度を鋼種間で比較するには、多数の試験片を用いて平均値を求めることを必要とするからである。

ところで、海洋環境で構造物が使用される際、一定の静的荷重に微小の繰り返し荷重が重なる場合も少なくない。したがって、高 R 値における海水の da/dN への影響度を明らかにすることは重要である。これに関しては、O. VOSIKOVSKY の論文²⁾があるが、それによれば、HY 130 鋼の塩水中での Zn による犠牲陽極のデータのみであり、 R の da/dN への影響は JK のかわりに $(JK + R)$ で整理することにより、除去されるというもので

昭和 55 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 56 年 12 月 4 日受付 (Received Dec. 4, 1981)

* 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 Sakuramura Niihari-gun 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 (wt%).

Steel No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Al
104	0.13	0.45	4.91	0.006	0.005	2.59	0.59	0.76	0.99	0.093	0.053
123	0.16	0.92	1.82	0.008	0.005	1.63	2.79	0.35	2.93	0.10	0.053
127	0.22	0.30	0.57	0.007	0.005	1.44	0.96	0.36	2.88	0.11	0.080

ある。

本報は高張力鋼の海水中での da/dN への R の影響度をより総合的に把握することを目的とする。そこで、海水中での疲れき裂伝播挙動の異なる 3 種類の 100 kgf/mm² 級高張力鋼を用いて、 $R=0.10$ から 0.90 までの 4 水準で、大気中および海水中での疲れ試験を行い、上記パラメータ $\gamma_0.167\text{Hz}$ と R 、それに破面との関係を調べた。

2. 実験方法

2.1 使用鋼種

使用した鋼は 3 種類で、それらの化学成分を Table 1 に示す。各鋼は容量 20 kg の高周波真空溶解炉で溶解し、鍛造、圧延により 7 mm 厚の板材にした。そして、すべて 900°C で 2 h 保持後空冷、850°C 焼入れ、615°C 焼もどしを施した。

2.2 疲れ試験

(a) 試験片の形状

5 mm 厚、40 mm 幅の片側切り欠き付き板試験片を使用した¹⁾。

(b) 疲れ試験

i) 試験機：±10 t 電気油圧サーボ型疲れ試験機を用いて、荷重制御試験を行った。

ii) 応力比：0.10, 0.50, 0.70 および 0.90 (引張-引張)

iii) 繰り返し速度：大気中では 17~20 Hz、海水中では 0.167 Hz (10 cpm)

iv) 波形：サイン曲線

v) き裂長さの測定：倍率×50 で読取顕微鏡により直接測定。 da/dN および JK は試験片の両面のき裂長さをを用いてそれぞれ計算し、両者の平均値をとった。

vi) JK の計算： $JK=f(a_i)J\sigma\sqrt{\pi a_i}$ 、ここで a_i はき裂長さ、 $J\sigma$ は応力範囲、 $f(a_i)$ は a_i に依存する補正項で、ASTM-STP 410²⁾ より求めた。

vii) 疲れ試験環境：大気中および人工海水中。人工海水の成分は ASTM-D 1141-52³⁾ によった。水温 30°C、pH 8.0~8.2、溶存酸素濃度約 8 ppm (air bubbling)、自然腐食、流量 1 l/min。

2.3 破面観察

海水中の破面は、酸化層をドータイト試薬 (Dotite

Table 2. Mechanical properties.

Steel No.	σ_B (kgf/mm ²)	σ_y (kgf/mm ²)	ϵ_t (%)	ϕ (%)	JK_{th}^* (kgf/mm ^{3/2})
104	111.1	105.1	16.5	66.5	11.3
123	106.6	94.7	15.9	64.6	15.5
127	119.4	115.8	14.1	61.1	14.0

* $R=0.10$

NAT) 0.1% 水溶液中で超音波洗じょうして除去した後、走査型電子顕微鏡で観察した。また、き裂の枝分れ状況は、破面をニッケルめつきして、破面に垂直方向を光学顕微鏡で観察して再確認した。

2.4 引張試験

直径 4 mm、標点距離 20 mm の丸棒試験片を用いて、クロスヘッド速度 0.10 cm/min で試験した。その結果および JK_{th} を Table 2 に示す。同表より引張強さは 3 鋼種ともだいたい同じ水準であること、 JK_{th} は 104 鋼において他の 2 鋼より多少低いことがわかる。なお、 JK_{th} は荷重減少法により求めた。

3. 結果および考察

3.1 大気中および海水中での疲れき裂伝播速度曲線

大気中および海水中での $da/dN-K$ 曲線の例を Fig. 1 に示す。104 鋼においては大気中の $da/dN-K$ 曲線と海水中のそれとの差は比較的小さいが、123 鋼においては両者の差は大きい。そして 127 鋼のそれは 104 鋼と 123 鋼の中間に位置する。この傾向は R 値にはほとんど影響されない。

大気中および海水中における全般的なき裂伝播傾向を見るために、104 および 123 鋼に関して大気中の da/dN と海水中の da/dN にそれぞれ分けて、 K_{max} との関係を図 2(a) および (b) に示す。 K_{max} で da/dN を整理したのは、静的応力腐食割れ (SCC) の da/dN への影響の有無を見るためである。大気中の $da/dN-K_{max}$ 曲線には R 依存性があり、 R が小さいほど高い da/dN を示しているが、両鋼種間の差はない。図示を略した 127 鋼に関しても同様である。

海水中 (Fig. 2(b)) では、両鋼種とも、 K_{max} の全域にわたって、 da/dN は R が高いほど低くなっており、このことは海水中でのき裂伝播が静的 SCC に支配されていないことを示している。もし静的 SCC が da/dN を律しているならば、高 R の場合に応力状態は静的 SCC

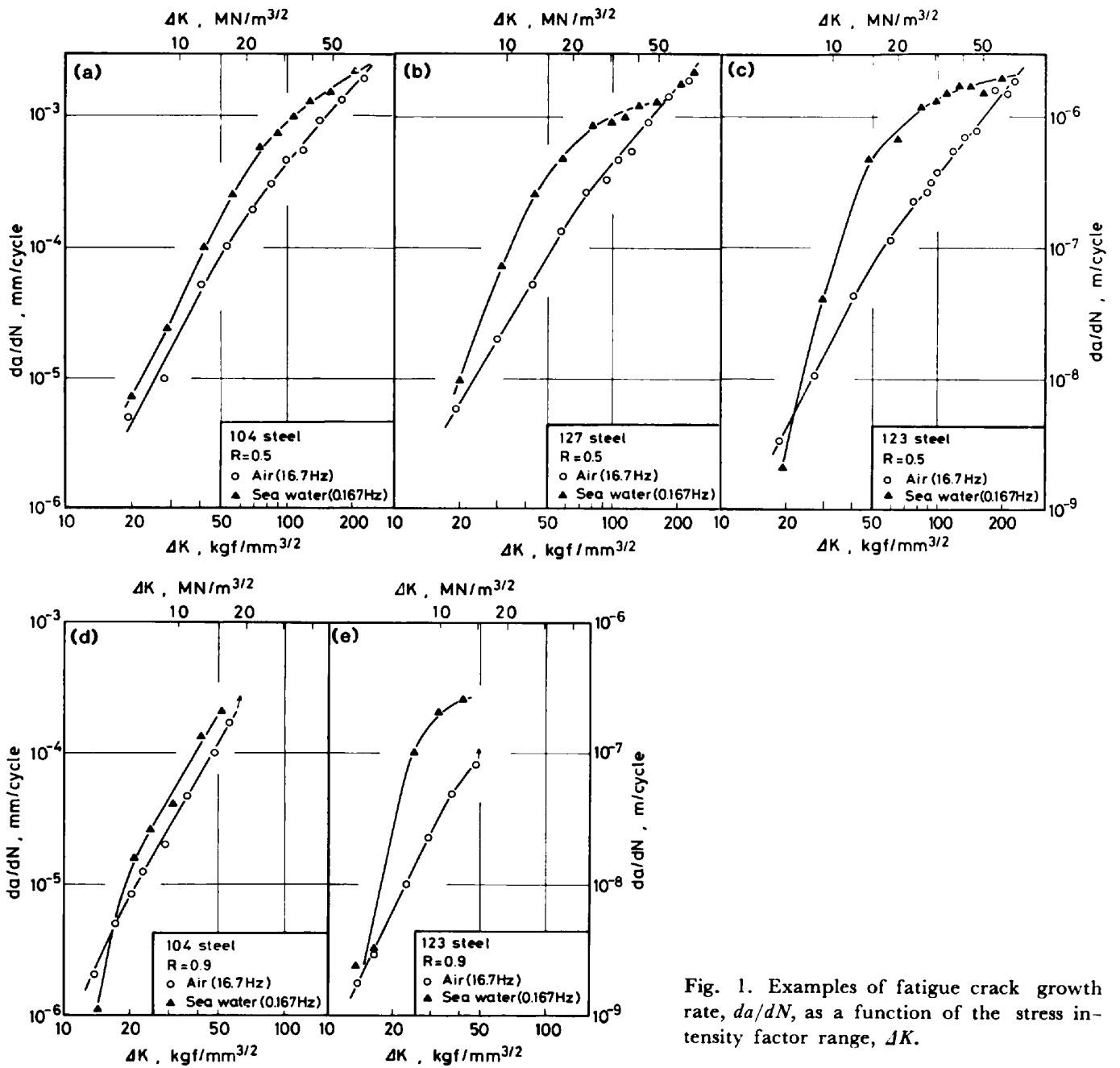


Fig. 1. Examples of fatigue crack growth rate, da/dN , as a function of the stress intensity factor range, ΔK .

の応力状態に近づくので、高 R の場合に da/dN は高くなるはずである⁹⁾。

Fig. 2(b) より、海水中では、すべての R において、123 鋼の da/dN が 104 鋼の da/dN より高くなっていることが分かる。しかしながら、海水が da/dN にどの程度影響しているかを評価するには、Fig. 1 あるいは Fig. 2 のような表示では不十分である。そこで Fig. 1 あるいは Fig. 2 を、海水の da/dN への影響度合を比較するためのパラメータ $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ により整理し直すと Fig. 3(a) および(b) のようになる。Fig. 3 より下記のことがわかる。

a) $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ は、 R および鋼種に関係なく、 ΔK に対して上に凸の曲線を示す。そして高および低 ΔK 領域では $\gamma_{0.167\text{Hz}} \approx 1$ となる。

b) 104 鋼において、 $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ と ΔK との関係は、 $R = 0.10, 0.50$ および 0.70 でほとんど同じ傾向を示している。127 鋼においても同様である。しかし、123 鋼においては、 $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ と ΔK (あるいは K_{max}) との関係は R 値により異なる。

c) 海水の da/dN への影響度合は 123, 127, 104 鋼の順に小さくなる。すなわち、123 鋼は海水の影響を最も強く受け、 $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ の最大値 ($\gamma_{0.167\text{Hz}, \text{max}}$) は、 R に

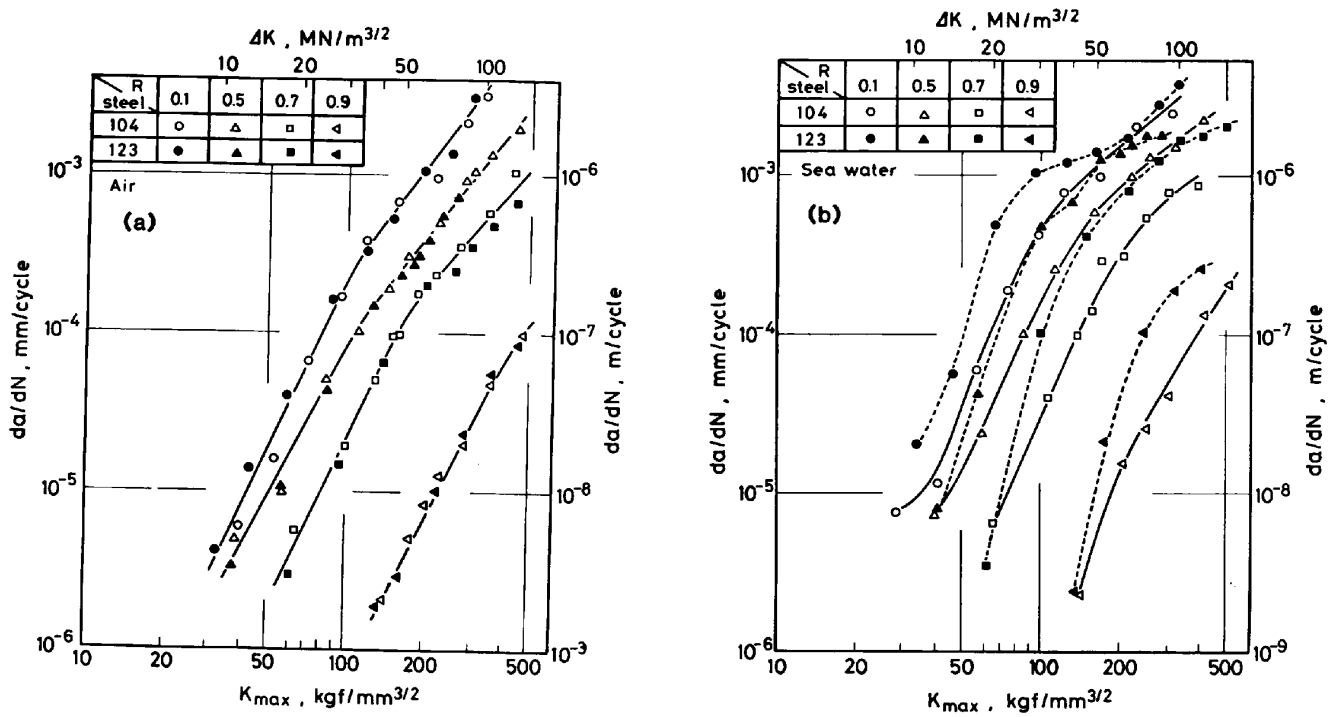


Fig. 2. Fatigue crack growth rates, da/dN , as a function of the maximum stress intensity factor, K_{max} , in 104 and 123 steels.

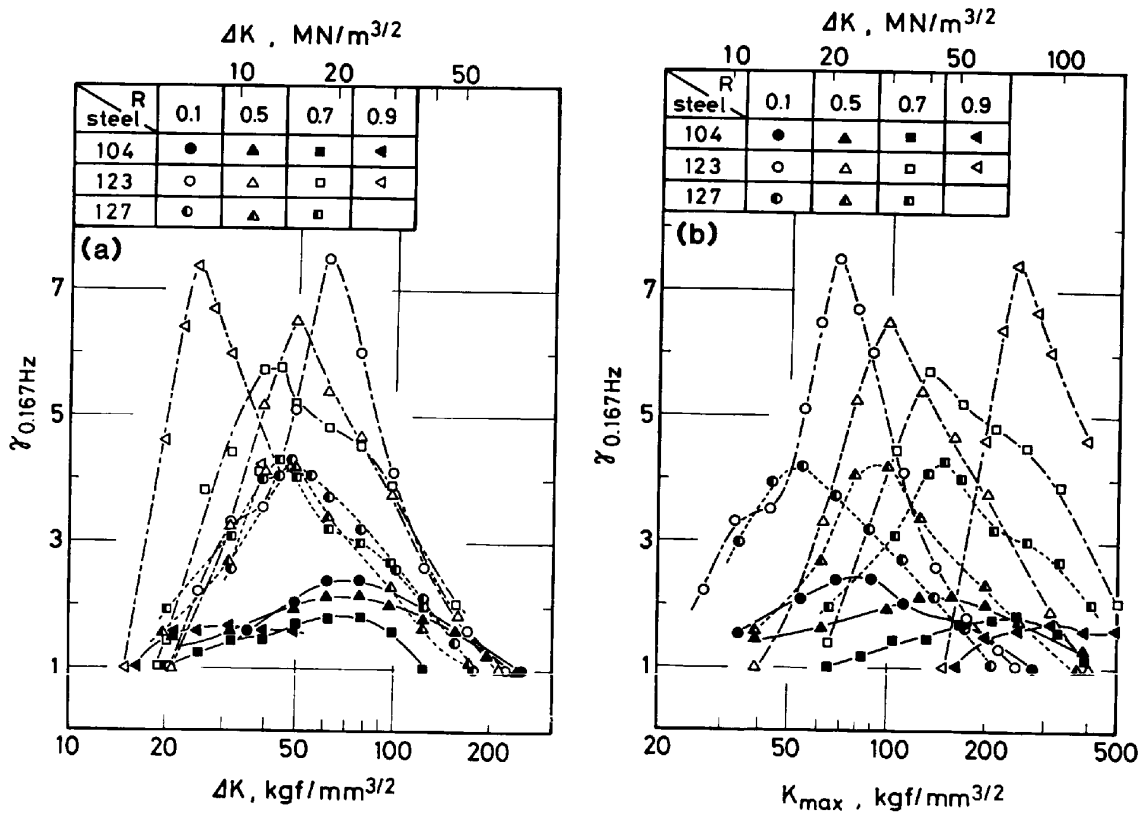


Fig. 3. Difference of a parameter $\gamma_{0.167Hz} (\equiv (da/dN)_{sea} / (da/dN)_{air})$ between steels used as a function of (a) the stress factor range, ΔK , and (b) the maximum stress intensity factor, K_{max} .

関係なく、5.5~7.5である。127鋼の $\gamma_{0.167\text{Hz}, \text{max}}$ は約4.2であり、104鋼の $\gamma_{0.167\text{Hz}, \text{max}}$ は2.3以下である。 $\gamma_{0.167\text{Hz}, \text{max}}$ は鋼種間では大きな相違を示すが、 R 依存性はほとんど認められない。

3.2 海水の疲れき裂伝播速度への影響の大きさと応力比との関係

静的 SCC に対して、腐食性環境下で繰り返し荷重がかかっている際のき裂伝播を動的応力腐食割れと言う場合がある。D. B. DAWSON らは、塩水中において Ti 合金の $(da/dN)_{\text{cor}}$ が $(da/dN)_{\text{air}}$ に比べて急激に増大しはじめる K を動的 K_{SCC} と呼んでいる⁴⁾。それは、塩水中繰り返し荷重下におけるき裂伝播挙動が静的 SCC と類似した(時間依存型き裂伝播)挙動を示す場合があるが、その際、その下限界値($(da/dN)_{\text{cor}}$ が $(da/dN)_{\text{air}}$ に比べて急激に増大し始める K 値)がいわゆる K_{ISCC} 値に比べてかなり低い K 値で生じるからである。類似した現象は負荷電位を種々変えた軟鋼においても観察されており、やはり動的 SCC と呼んでいる⁵⁾。

先に述べたように、使用した3鋼種においては、静的 SCC は da/dN に対してほとんど影響しなかつた。したがって、 $(da/dN)_{\text{cor}} > (da/dN)_{\text{air}}$ となる場合、その原因を動的 SCC に帰することができる。なぜならば、海水環境下では、静的 SCC はアノード反応とカソード反応に大別できるが、一方、繰り返し荷重下においても、 da/dN の環境による増分($(da/dN)_{\text{cor}} - (da/dN)_{\text{air}}$)はその原因をアノード反応(溶解)とカソード反応に求めることができるからである。そして、前者が活性径路割

れとなり、後者が水素脆性割れとなる。動的 SCC がき裂伝播を律する際、 $K_{\text{max}} > K_{\text{ISCC}}$ であつても別に差しつかえない。

前述のように使用した3鋼種においては、静的 SCC のき裂伝播への影響は比較的少ない。したがって、 $\gamma_{0.167\text{Hz}} > 1$ の場合、動的 SCC がき裂伝播に影響していることになる。しかしながら、本論文では $\gamma_{0.167\text{Hz}} > 1.5$ となる K あるいは ΔK 領域を動的 SCC の影響域と定義した。それは、Fig. 1からも明らかのように、低 da/dN 側で $\gamma_{0.167\text{Hz}} = 1$ を求めることができない場合があるからである。海水の da/dN への影響の大きい123および127鋼においては $\gamma_{0.167\text{Hz}} = 1.5$ に対する ΔK あるいは K_{max} 値は $\gamma_{0.167\text{Hz}} = 1$ に対するそれらとだいたい同じである。

動的 SCC を上記のように定義すると、低 K (あるいは ΔK)側で $\gamma_{0.167\text{Hz}} = 1.5$ に対応する K (ΔK)値を動的 K_{SCC} (ΔK_{SCC})と呼ぶことができる。

縦軸に R 、横軸に K_{max} あるいは ΔK をとり、それに $\gamma_{0.167\text{Hz}} = 1.5$ および $\gamma_{0.167\text{Hz}, \text{max}}$ を表示すると Fig. Fig. 4(a)および(b)のようになる。同図から下記のことになる。なお、104鋼は $\gamma_{0.167\text{Hz}, \text{max}}$ が低いので、 $\gamma_{0.167\text{Hz}} = 1.5$ に対する K_{max} あるいは ΔK 値は他の2鋼種に比べてばらつきが大きくなっている。

a) 動的 K_{SCC} は R の増大とともに増加する。例えば、127鋼において $R=0.10$ の動的 K_{SCC} は約30 kgf/mm^{3/2}であるが、 $R=0.70$ のそれは約80 kgf/mm^{3/2}である。

b) 動的 ΔK_{SCC} は、 R の増大とともに、多少減少す

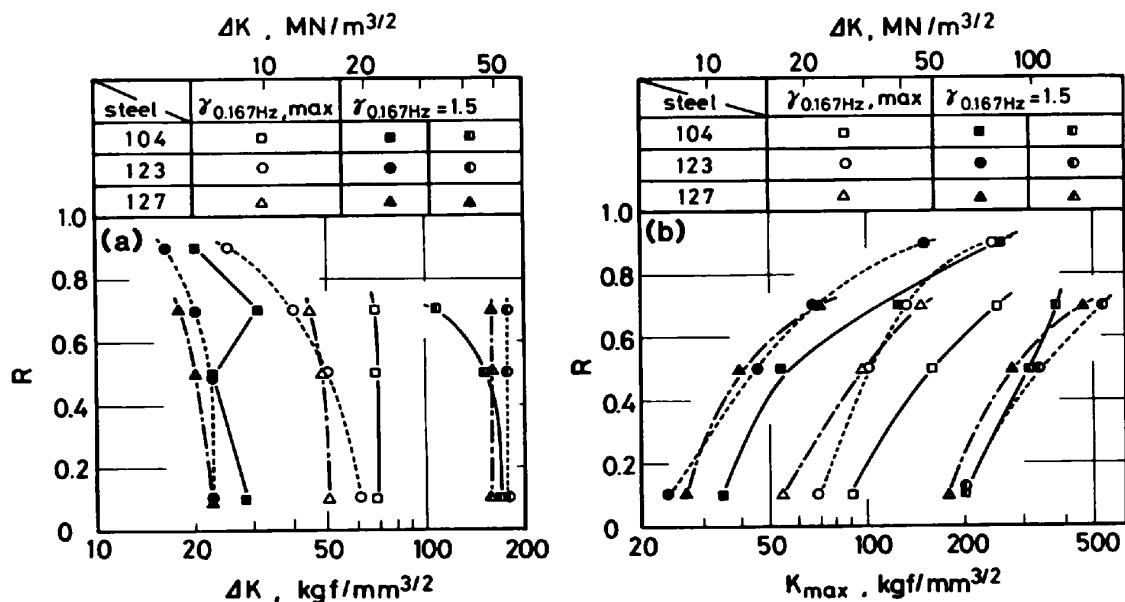


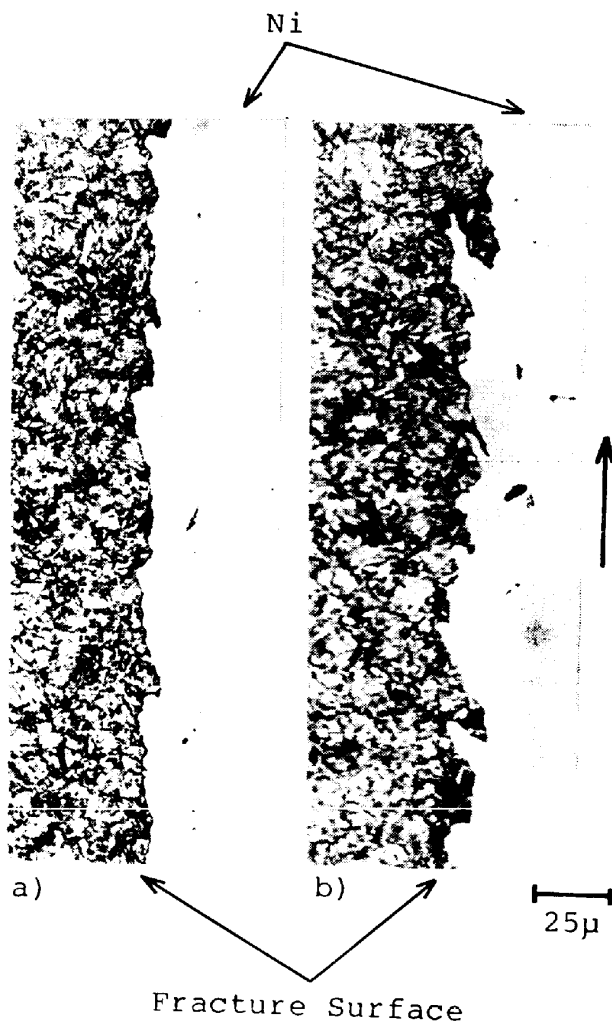
Fig. 4. (a) ΔK -values to $\gamma_{0.167\text{Hz}} = 1.5$ and the maximum $\gamma_{0.167\text{Hz}}$, and (b) K_{max} -values to those, as a function of stress ratio, R .

るが、全般にはあまり影響されない。

a) および b) より、動的 SCC が da/dN に影響を及ぼす下限値は K_{max} よりむしろ JK に律せられていると言える。ここで、動的 JK_{SCC} は $R=0.10, 0.50, 0.70$ の場合平面歪み条件下にあり、 $R=0.90$ の場合平面応力条件下にある。これらは $t_m=2.5(K/\sigma_{y,m})^2$ を用いて検討した¹⁰⁾。ここで t_m は板厚である。

c) $\gamma_{0.167Hz,max}$ と R との関係は鋼種により異なつた挙動を示す。動的 SCC の da/dN への影響が小さい 104 鋼の場合、 $0.70 \geq R \geq 0.10$ において $\gamma_{0.167Hz,max}$ が生じる JK は R に関係なく $70 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ である。これより、104 鋼においては $\gamma_{0.167Hz,max}$ は JK により律されていると言える。なお、 $R=0.90$ の場合、平均荷重が高いために塑性変形を生じやすく、 $JK=50 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ で不安定破壊を生じるので、 $R \leq 0.70$ の場合とは異なつた挙動を示す。

127 鋼の $\gamma_{0.167Hz,max}$ と R との関係は 104 鋼のそれ



(a) In air $JK=93 \text{ kgf/mm}^{3/2}$, 20 Hz
 (b) In sea water $JK=112 \text{ kgf/mm}^{3/2}$, 0.167 Hz
 Photo. 1. Fracture surfaces of 127 steel. $R=0.50$

と類似しているが、動的 SCC の da/dN への影響が最も顕著な 123 鋼の場合、他の 2 鋼種とは異なつている。すなわち、 $\gamma_{0.167Hz,max}$ に対する JK 値は R が高くなるとともに低 JK 側に移行する。 $R=0.10, 0.50, 0.70$ および 0.90 におけるその JK 値はそれぞれ 62, 50, 40 および $28 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ である。一方、 K_{max} で整理し直すと、 $\gamma_{0.167Hz,max}$ に対する K_{max} は R の増加とともに高 K_{max} 側に移行する。したがつて、123 鋼においては $\gamma_{0.167Hz,max}$ は JK および K_{max} により律されている。

d) 動的 SCC の da/dN への影響が終る JK (Fig. 4 において $\square, \circ, \triangle$ で示されている) は R に関係なく一定値を示す。

3.3 疲れき裂伝播速度と破面との関係

破面を走査型電子顕微鏡、および破面に垂直な面を光学顕微鏡で調べた結果、海水の da/dN への影響が相対的に小さい 104 および 127 鋼においては粒界割れ、へき開割れ、あるいは 2 次割れ (枝分かれ) はほとんど観察されなかつた。一方、海水の da/dN への影響が相対的に大きい 123 鋼においては粒界割れおよび 2 次割れが多数観察された。

127 鋼の大気中および海水中での疲れ破面に垂直な面の写真を Photo. 1(a) および (b) に示す。海水中の疲れ破面は大気中のそれに比べて多少凸凹が多く、ピットが存在するようである。海水の影響が最も大きい、 $\gamma_{0.167Hz,max}$ を示す JK 附近の破面を Photo. 2 に示す。このように粒界割れはほとんど観察されない。した

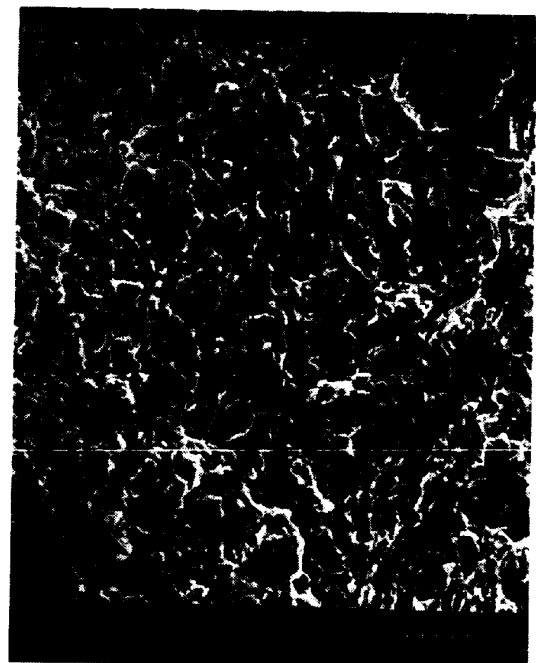
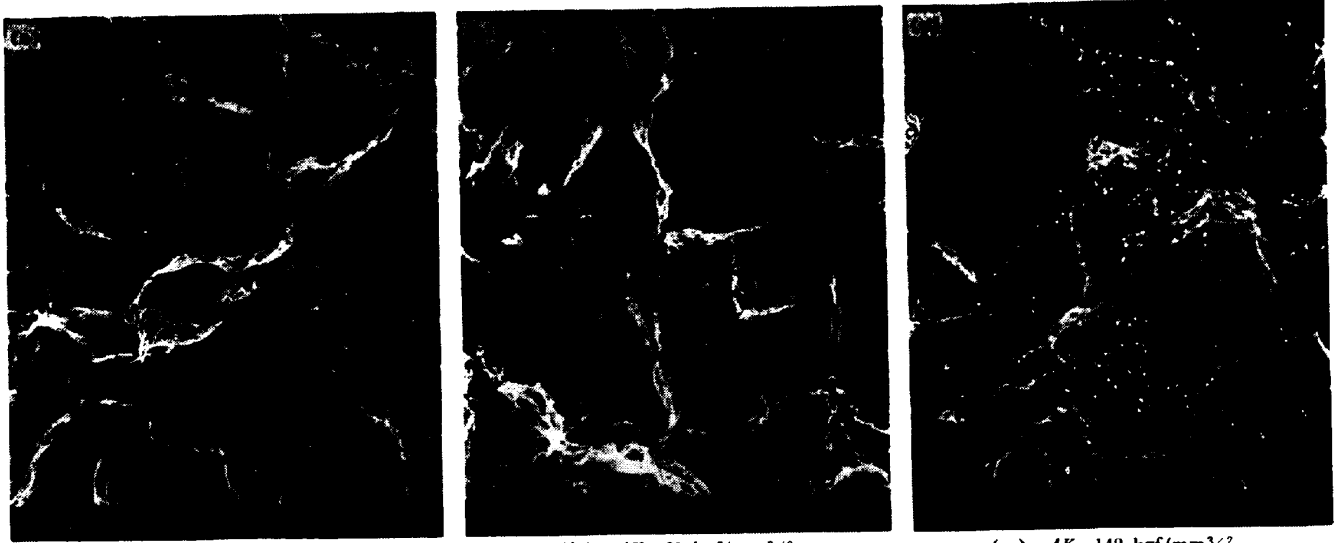
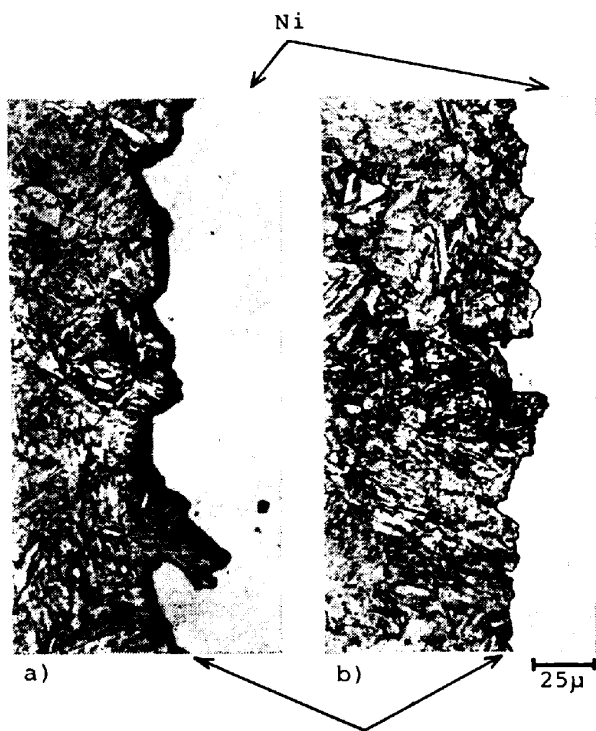


Photo. 2. Fractograph of 127 steel in sea water at the frequency of 0.167 Hz. $R=0.10$ $JK=78 \text{ kgf/mm}^{3/2}$



(a) $\Delta K=42 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ (b) $\Delta K=60 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ (c) $\Delta K=142 \text{ kgf/mm}^{3/2}$
 Photo. 3. Fractographs of 123 steel in sea water at the frequency of 0.167 Hz, $R=0.10$.



Fracture Surface

(a) $\Delta K=60 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ (b) $\Delta K=140 \text{ kgf/mm}^{3/2}$

Photo. 4. Examples of secondary crack (branching) of 123 steel in sea water at the frequency of 0.167 Hz. $R=0.10$

がつて 127 鋼および 104 鋼の場合, $(da/dN)_{cor}$ が $(da/dN)_{air}$ に比べて高くなるのは 活性径路割れの結果であろう。そして 127 鋼と 104 鋼の間で $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ が異なるのは化学組成などの違いによるものと思われる。

一方, 123 鋼においては粒界割れや 2 次割れが多数見られるが, それは ΔK 値や R 値に依存する。この場合 $(da/dN)_{cor}$ が $(da/dN)_{air}$ に比べて高くなるのは, 破



Photo. 5. Fractograph of 123 steel in sea water 0.167 Hz, $R=0.70$, $\Delta K=30 \text{ kgf/mm}^{3/2}$.

面に粒界割れが多数観察されるので, 腐食反応の結果生じた水素が原因していると考えられる。海水中においては, $R=0.10$ の場合, $\Delta K=30 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ ですでに粒界割れが存在している。粒界割れ破面率は ΔK の増加とともに増大し, $\Delta K=40\sim 60 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ で最大となる。そしてこの破面率は ΔK の増大とともに減少するが, $\Delta K > 150 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ でもゼロにはならない。しかし, $\Delta K=200 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ では粒界割れはほとんど存在しなくなる。粒界割れ破面率と ΔK との関係は $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ と ΔK との関係にだいたい対応している。 $\Delta K=42, 60$ および $142 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ に対応する破面の例を Photo. 3 に示す。

Photo. 3(a) においては2次割れは見られないが、(b)および(c)においては2次割れが見られる。2次割れの現れる度合は ΔK の増加とともに著しくなる。破面に垂直な面の写真はこの状況を明確に示している。すなわち、 $\Delta K=60 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ の場合2次割れの量は少ない(Photo. 4(a))が、 $\Delta K=140 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ の場合その量は多くなっている(Photo. 4(b))。この2次割れが現れ始める $\Delta K=60 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ においてはき裂先端の単調塑性域の大きさ $r_{m.p}$ は約 30μ であり、これは前オーステナイト粒大きさとだいたい一致する。 $R=0.70$ の場合、き裂先端の $r_{m.p}$ が 30μ になるのは $\Delta K=20 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ である。 $R=0.70$ の場合、2次割れはPhoto. 5に示すように $\Delta K=30 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ においてすでに観察できる。この場合、 $\Delta K=20 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ においても2次割れが既に存在していたと仮定すれば、2次割れが現れ始める ΔK の R 値依存性は、2次割れが $r_{m.p}$ が前オーステナイト粒大きさをこえるあたりから生じることに関係していることになる。

なお、上記の $r_{m.p}$ は次式により計算した⁷⁾。

$$r_{m.p}=0.05\sim 0.10(\Delta K/\sigma_y)^2$$

また、 $r_{m.p}$ の R 依存性については⁶⁾

$$r_{m.p}\propto (1/(1-R)^2 \cdot \Delta K^2 \dots \dots) \quad (R \geq -1)$$

ここで、 σ_y は降伏強さである。

大気中の破面には2次割れはほとんど見られないので、2次割れと $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ とは関連ありそうに見える。しかしながら、 $R=0.10$ において $\gamma_{0.167\text{Hz,max}}$ が現れる $\Delta K=60 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ では2次割れはそれほど多くなく、また海水が da/dN にほとんど影響しない $\Delta K > 200 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ でも顕著な2次割れが多数見られることは、2次割れ自体は da/dN に対してあまり影響を及ぼさないと言える。

破面は、海水の da/dN への影響が比較的小さい104と127鋼の場合、粒内割れであり、そして海水の da/dN への影響が比較的大きい123鋼の場合、粒界割れである。前者の場合、 $\gamma_{0.167\text{Hz,max}}$ は主として ΔK に律せられているが、後者の場合、 ΔK および K_{\max} に律されている。しかし、3.2で定義した動的SCCは破面形態に関係なく、 ΔK に律されている。

なお、 $\gamma_{0.167\text{Hz,max}}$ と化学組成、あるいは強度との関係についてはあらためて報告する予定である。

4. 結 論

海水の da/dN への影響度合の異なる、引張り強さ100 kgf/mm²級の3鋼種を用いて、 $R=0.10, 0.50, 0.70$ および 0.90 で、大気中および海水中で疲れ試験を行い、海水の da/dN への影響について調べた。その際、海水の da/dN への影響度合をパラメータ $\gamma_{0.167\text{Hz}}(\equiv (da/dN)_{\text{cor}}/(da/dN)_{\text{air}})$ を用いて相対的に比較した。結果は次のとおりである。

1) $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ と ΔK との関係は、海水の da/dN への影響が比較的小さい104および127鋼において、 $R=0.10, 0.50$ そして 0.70 で、ほぼ同じ傾向を示す。海水の da/dN への影響が比較的大きい123鋼においては、 $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ と ΔK (あるいは K_{\max})との関係は R 値により異なる。

2) $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ の最大値は104鋼では約2、127鋼では約4そして123鋼では $5.5\sim 7.5$ であり、この値は R にはほとんど依存しない。

3) 104および127鋼においては、海水中疲れ破面は粒内割れである。 $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ の最大値は、 $0.70 \geq R \geq 0.10$ で、それぞれ $\Delta K=70$ および $48 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ で現れる。

1)および3)より、104および127鋼においては、海水の da/dN への影響は ΔK に律されていると言える。なお、 $R=0.90$ の場合、 $\Delta K=50 \text{ kgf/mm}^{3/2}$ で不安定破壊を生じる。

4) 123鋼において、 $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ が高い領域では、海水中疲れ破面は主として粒界割れである。 R の増加とともに、 $\gamma_{0.167\text{Hz}}$ の最大値に対する ΔK は低 ΔK 側に移行、そして K_{\max} は高 K_{\max} 側に移行する。

5) 123鋼には、海水下では多数の2次割れ(枝分かれ)が存在する。それは、き裂先端の塑性域大きさが前オーステナイト粒大きさをこえる ΔK 附近から、生じ始める。この枝分かれは da/dN に対して影響しない。

6) 動的 K_{SCC} は、海水の da/dN への影響度合の大小、および破面形態に関係なく、主として ΔK により律される。すなわち、動的 K_{SCC} は $0.9 > R > 0.1$ で鋼種ごとに一定値を示す。

最後に溶解、加工、熱処理に御協力いただいた高橋順二、谷治治男、斎藤正、本多均一、小島重信、浅井義一、清水哲夫の諸氏に感謝します。

文 献

- 1) 角田方衛, 丸山典夫, 内山 郁: 鉄と鋼, 66 (1980), p. 1669
- 2) W. F. BROWN Jr. and J. E. SRAWLEY: ASTM STP 410 (1966), p. 12
- 3) ASTM D1141-52, (1971), p. 180
- 4) D. B. DAWSON and R. M. PELLOUX: Metall. Trans., 5 (1974), p. 723
- 5) R. N. PARKINS and B. S. GREENWELL: Met. Sci., 11 (1977), p. 405
- 6) 角田方衛, 内山 郁: 材料, 26 (1977), p. 518
- 7) C. BATHIAS and R. M. PELLOUX: Metall. Trans., 4 (1973), p. 1265
- 8) O. VOŠIKOVSKÝ: J. Testing Evaluation, 6 (1978) p. 175
- 9) 遠藤吉郎, 駒井謙治郎, 松田良信: 日本機械学会論文集 (A編) 47 (1981), p. 257
- 10) W. F. BROWN Jr. and J. E. SRAWLEY: ASTM STP 410 (1966), p. 23