

徳島大院
徳島大工○津村 豪 成田 晶彦
村上 理一 秋園 幸一

1. 緒言

海洋中に建設された溶接構造物はしばしば強い波浪や台風などによる衝撃負荷を受けると考えられる。構造物が衝撃負荷を繰返し受けた場合、大気中では疲労き裂伝播速度はかなり加速されるが、これに海水による腐食作用が重畳した場合、疲労き裂伝播挙動はさらに複雑になることが予想される。例えば、正弦波形のもとでは腐食疲労き裂伝播速度は繰返し速度及び応力波形の影響を顕著に受ける。特に最大応力に達するまでの時間が重要な因子であることが報告されている^{2,3)}。このような腐食の効果に対する衝撃負荷及び溶接残留応力の影響についてほとんど明らかにされていないのが現状である。本研究ではボイラ用鋼板の溶接部材の衝撃疲労き裂伝播速度を大気中と天然海水中で比較して上述した点を説明することと試みた。

2. 材料及び実験方法

実験に供した材料は耐食性を有する板厚9mmのSB42鋼で、化学成分及び機械的性質は前報で示したとおりである。この材料と溶接方向と圧延方向が一致するように三層盛被覆アーク溶接を行った。このときの溶接条件は前報⁴⁾に示したとおりである。

試験片は長さ6mmの切欠きと有する片側切欠き試験片で、その詳細は前報に示した。試験片には前報と同様、(1)母材(PM材) (2)き裂が溶接金属を伝播するもの(Pweld材) (3)き裂がビードに直角に伝播するもの(Nweld材)の三種類を準備した。

用いた環境は大気と天然海水であった。衝撃疲労き裂伝播試験は回転円板式衝撃疲労試験機を用い、ハンマ衝撃速度5.5m/s、繰返し速度2.5Hzで行った。き裂長さの測定は予めMTS電気油圧式疲労試験機を用いて切欠き先端に約1mmの疲労予き裂を導入したのち0.01mmの読取り精度を有する読取り顕微鏡を用い、き裂が0.5mm伝播するのに要する衝撃繰返し数から衝撃疲労き裂伝播速度を求めた。天然海水中における衝撃疲労き裂伝播試験は、き裂伝播領域にプラスチック容器を取り付けたのち、天然海水を1.2/分の流速で循環させた自然腐蝕電位下で行った。用いた天然海水は前報⁴⁾に示したものと全く同一であった。応力拡大係数の計算は前報と同じTadaの式⁵⁾を用いた。

図1に本実験に用いた溶接試験片の硬さ分布、図2

にその溶接残留応力分布を示した。溶接金属及びHAZの硬さは母材に比べて高い。初期溶接残留応力は、Nweld材では溶接金属部で引張り、その両側で圧縮の残留応力分布であり、Pweld材では試験片両側において圧縮、中央部で引張りの残留

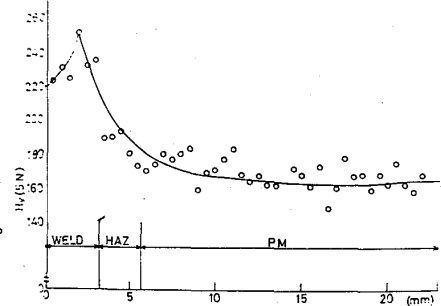


図1 溶接継手の硬さ分布

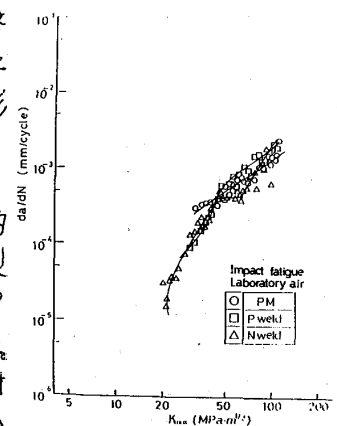
図2 溶接継手の残留応力分布。その絶対値はNweld材に比べてPweld材が小さかった。

図2 溶接継手の残留応力分布

3. 実験結果及び考察

3.1 大気中での衝撃疲労き裂伝播速度

図3は大気中での衝撃荷重下における da/dN に及ぼす溶接残留応力の影響を示したものである。母材の場合、 da/dN は K_{max} に対してほぼ直線的に増加した。これはき裂が溶接金属を伝播するPweld材でも同じであった。しかしその da/dN は母材のそれよりも若干大きかった。き裂がビードに対して直角に伝播するNweld材では、 da/dN は K_{max} ≒45MPa√mまでは K_{max} とともに増大し、この K_{max}

図3 大気中における衝撃荷重下での da/dN に及ぼす溶接残留応力の影響

値においてほぼ一定の $5 \times 10^{-4} \text{ mm/cycle}$ に達した。その後 $k_{\max} > 70 \text{ MPa}$ の範囲において da/dN は再び k_{\max} とともに増大した。前報で示したように正弦波荷重下では N_{weld} 材では圧縮残留応力によってかなり大きな da/dN の低下挙動を示した。衝撃荷重下では上述したように da/dN の低下挙動は小さく、正弦波荷重下に比べて高 k_{\max} レベルで生じた。ところで衝撃疲労の da/dN が正弦波荷重下の標準疲労における高応力比でのそれに類似した挙動を示すことはよく知られている。ここでの N_{weld} 材について標準疲労の $R = 0.6$ では da/dN の低下挙動が認められなかった。また最大衝撃引張応力は約 $1/3 \text{ OMA}$ と $R = 0.6$ の最大引張応力値にほぼ等しいことから考えてもここでの結果は一般的に衝撃疲労の傾向と一致した。

3.2 天然海水中での衝撃疲労き裂伝は速度

図4は天然海水中における衝撃荷重下での da/dN に及ぼす溶接残留応力の影響を示したものである。海水中では母材と溶接材では衝撃荷重下の da/dN に明らかな差異があった。すなわち、溶接材の da/dN よりも母材のそれが約5倍も大きく、溶接材では da/dN に差異がなかった。この結果は標準疲労での $R = 0.05$ の挙動と類似しており、大気中の結果とかなり相違した。

天然海水中での衝撃荷重下における溶接部材の da/dN を考えるにあたって、(1)溶接残留応力の影響、(2)衝撃荷重波形、(3)海水による腐食作用、(4)金属組織の影響の4点について考察することが必要である。まず衝撃荷重下では最大応力に達するまでの時間は 0.13 msec と標準疲労に比べてかなり小さく、海水による腐食作用が生ずるには時間が少ない。そうである溶接材ではき裂に圧縮残留応力が作用しているためにき裂先端開口量は母材に比べて小

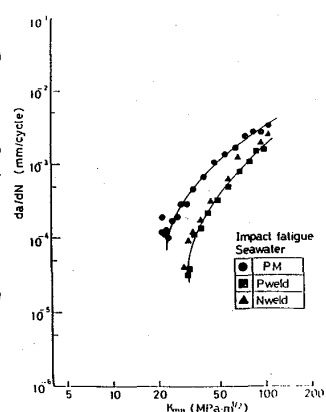
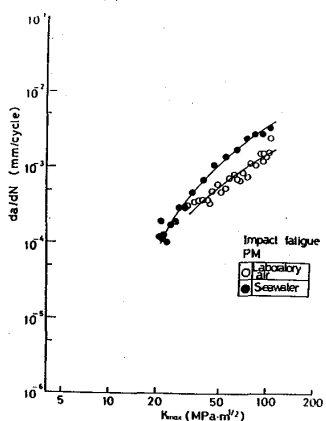
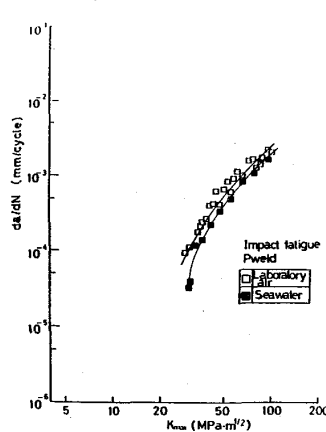


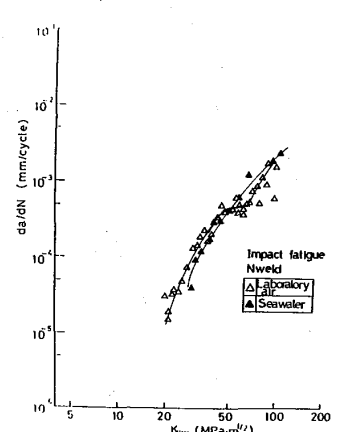
図4 天然海水中における衝撃荷重下での da/dN に及ぼす溶接残留応力の影響



(a) PM材の場合



(b) Pweld材の場合



(c) Nweld材の場合

図5 衝撃荷重下の da/dN に及ぼす海水の影響

さいと考えられる。したがって海水が攻撃する新生面は母材の方が溶接材より多くなり、海水による da/dN の加速は前者の方が顕著になると考えられる。また溶接金属は図1に示したように母材より硬さが高く、標準疲労でも腐食疲労き裂伝は抵抗も優れていた。このことは衝撃荷重下でも全く同様である。

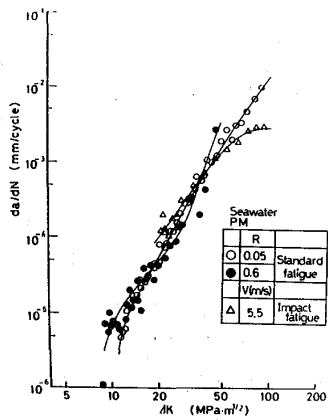
3.3 大気中と天然海水中の da/dN の比較

図5はそれぞれの試験片における衝撃荷重下の da/dN を大気中と海水中とで比較したものである。母材の場合、高 k_{\max} レベルを除いて海水中での da/dN がかなり大きい。標準疲労では海水によって da/dN がわずかに加速されており、衝撃荷重下でも同様である。このことは衝撃荷重のように負荷速度が速い場合でも海水による腐食作用起因で da/dN の加速が生ずることを示しており、海水中に建設される構造物の腐食疲労破壊を考えるうえで注意を払うことが必要となる。一方、溶接材についてみると、 N_{weld} 材及び P_{weld} 材とも大気中及び海水中の da/dN はほとんど一致した。 P_{weld} 材では前報に示したように標準疲労の da/dN に海水の影響はほとんど認められず、この結果からも溶接金属は腐食疲労き裂に対して優れた伝は抵抗を有すると結論される。 N_{weld} 材では標準疲労において著しい海水の影響が存在した。これに対して衝撃荷重下では上述したように海水の影響はほとんどみられなかった。前報において標準疲労の腐食疲労き裂伝は挙動も圧縮残留応力が自然腐食電位の変化に影響を及ぼすことから考察した。この考えでは衝撃荷重下の結果をうまく説明できない。母材において衝撃荷重下でも海水の影響が認められたことから考えて、溶接材での圧縮残留応力の存在が母材にみられた海水の影響を打ち消したと考

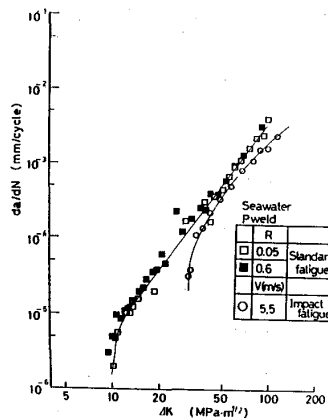
えられる。これは3.2節で述べた議論の妥当性を示唆している。

3.4 天然海水中での衝撃疲労と標準疲労の比較

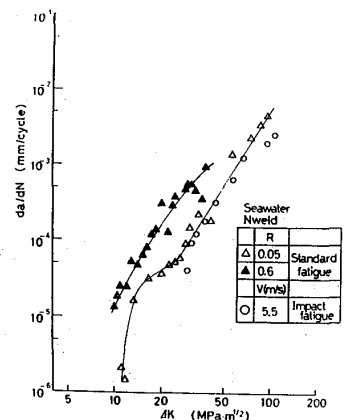
図6にそれぞれの試験片における天然海水中での da/dN を衝撃疲労と標準疲労で比較した。衝撃荷重の荷重比は負であったので、圧縮荷重はき裂伝播に寄与しないと考え、図6の整理は $\max = \Delta K$ として行った。図から明らかのように、両者の関係は試験片によってかなり異なった。すなわちPM材では低 ΔK レベルで衝撃疲労の da/dN が標準疲労のそれよりわずかに大きく、高 ΔK レベルになると両者の関係は逆転した。Pweld材では衝撃疲労の da/dN が逆に小さくなり、Nweld材では標準疲労の $R=0.05$ の da/dN とほぼ一致した。



(a) PM材の場合



(b) Pweld材の場合



(c) Nweld材の場合

図6 天然海水中での衝撃疲労と標準疲労の da/dN の比較

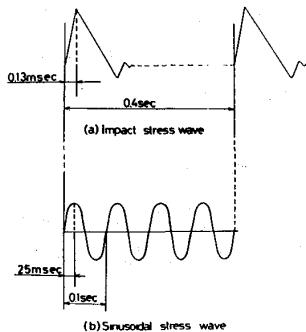


図7 衝撃荷重波形と正弦波波形の比較

一般に大気中では衝撃疲労の da/dN は標準疲労のそれよりかなり大きく、後者において高荷重比になるとその差異が減少した。しかし上述したように両者の関係は海水中では必ずしもそのようになっていない。海水中での腐食疲労き裂伝播挙動を考えると、応力波形及び繰返し速度の効果を考慮しなければならない。本研究に用いた衝撃波形と正弦波形の諸元を示したものが図7である。繰返し速度は衝撃疲労が2.5Hzで、標準疲労の4倍も遅いけれども、最大応力に達するまでの時間は図7に示したように衝撃疲労の方が192倍も速い。さらに応力負荷時間は短く、衝撃間隔(0.4sec)の2.5%であることから衝撃間隔の97.5%は無負荷状態にあるのが衝撃疲労の特徴である。これまでの結果によると、腐食疲労き裂伝播挙動は応力上昇時間に著しく影響を受け、その時間が長いほど腐食の効果が顕著であった。これをここの結果に当てはめると、海水による腐食の効果は衝撃荷重下と比べて正弦波荷重下の方が著しいと考えられる。しかし、大気中の結果から推察すると衝撃負荷は da/dN の加速に寄与する。したがって海水中での衝撃荷重下の da/dN は腐食作用に対する衝撃波形の抑止効果とき裂伝播加速効果の複

合作用によって決定されると考えられる。そのうえ、溶接材に存在する溶接残留応力が2つの効果をさらに複雑にしている。

4 結言

ボイラ用銅板の突合せ溶接継手について大気中と天然海水中での繰返し衝撃荷重下の腐食疲労き裂伝播速度を測定し、海水による腐食の効果及び溶接残留応力の効果を明らかにした。得られた結果をまとめると次のようになる。

- 1) 大気中での衝撃荷重下の疲労き裂伝播速度は溶接残留応力の影響をあまり受けなかった。
- 2) 海水中での衝撃荷重下の疲労き裂伝播速度は母材が最も速く、溶接材ではあまり変わらなかった。これらの挙動は圧縮残留応力による結果であった。
- 3) 溶接材において大気中と海水中での衝撃荷重下のき裂伝播速度を比較すると両者はほとんど同じであった。しかし母材では海水によるき裂伝播速度の加速が認められた。
- 4) 海水中での衝撃荷重下と正弦波荷重下の疲労き裂伝播速度を比べると、両者の関係は試験片によってかなり異なった。これらは腐食作用に対する応力波形の抑止効果と衝撃負荷による加速効果の複合関係で決まり、溶接残留応力がこの関係をさらに複雑にした。

最後に本研究は昭和60年度科学研究費補助金(一般研究B)の援助によるものである。ここに記して謝意を表わす。

(参考文献省略)