

天然海水中における繰返し衝撃荷重下での腐食疲労き裂伝ば速度に及ぼす溶接残留応力の影響

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。構造部材が衝撃負荷を繰返し受けた場合、大気中では疲労き裂伝ば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畠して場合、疲労き裂伝ば速度はさらに複雑になることが予想される。例えば、正弦波形のものでは腐食疲労き裂伝ば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。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ば速度を大気中と天然海水中で比較して上述した点を解明することを試みた。

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SUS420J2、化学成分及び機械的性質は前報で示したとおりである。この材料を溶接方向と圧延方向が一致するように三重層被覆アーフ溶接を行った。このときの溶接条件は前報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ばすするもの(Pweld材) (3)き裂がビードに直角に伝ばすもの(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る。衝撃疲労き裂伝ば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電気一油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の読み取り精度を有する読み取り顕微鏡を用い、き裂が0.5mm伝ばするまで要する衝撃繰返し数から衝撃疲労き裂伝ば速度を求めた。天然海水中における衝撃疲労き裂伝ば試験は、き裂伝ば領域にプラスチック容器を取り付けたのち、天然海水を1ℓ/分の流速で循環させて自然腐食電位下で行った。用いた天然海水は前報に示したものと全く同一である。応力拡大係数の計算は前報と同じTadaの式を用いた。

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
示す。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
応力分布であ
る。

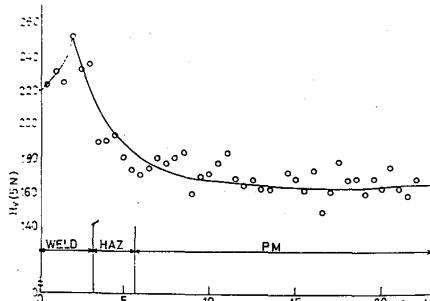


図1 溶接継手の硬さ分布

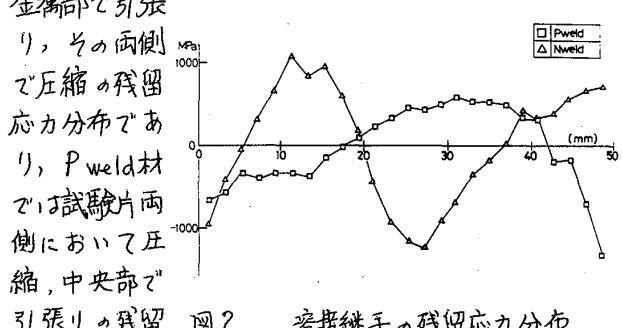
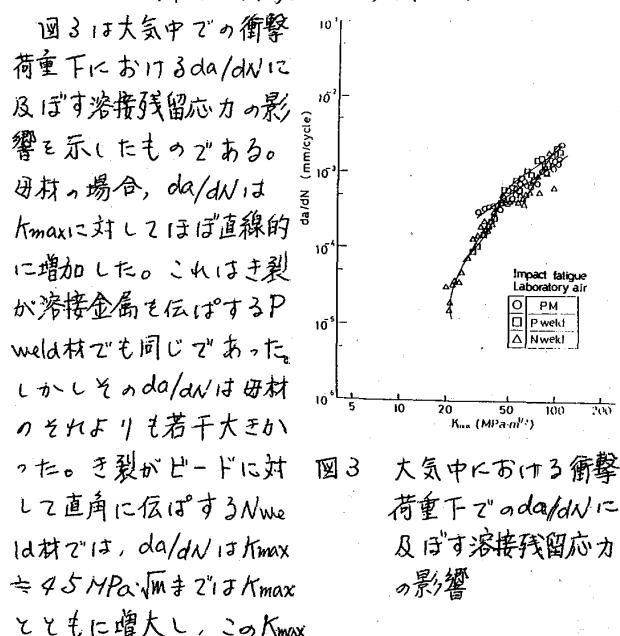


図2 溶接継手の残留応力分布

た。その絶対値はNweld材に比べてPweld材が小さい。

3. 実験結果及び考察

3.1 大気中での衝撃疲労き裂伝ば速度

図3 大気中ににおける衝
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 $5 \times 10^{-4} \text{ mm}/\text{cycle}$ に達した。その後 $K_{max} > 70 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 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つてかなり大きな 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 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 130 MPa 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得られた結果は一般的な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ば速度

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る。すなはち、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及ぶ時間が少ない。そのうえ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

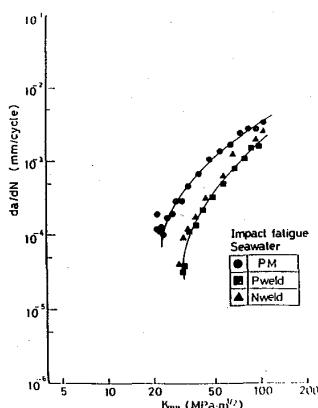
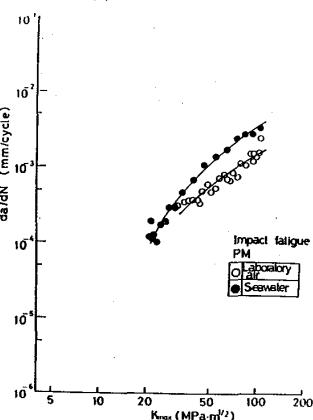
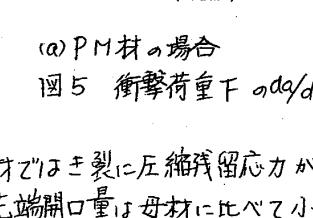


図4 天然海水中における衝撲荷重下での da/dN に及ぼす溶接残留応力の影響



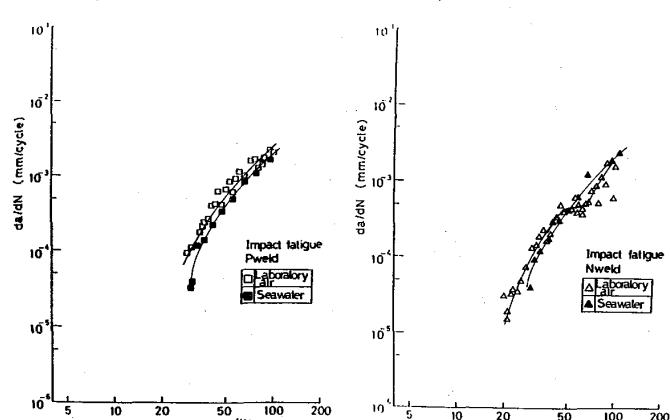
(a) PM材の場合



さいと考えられる。したがつ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を裂伝ば抵抗も優れていた。このことは衝撲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撲荷重下の da/dN を大気中と海水中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つて da/dN がわずかに加速されており、衝撲荷重下でも同様である。このことは衝撲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に起因して 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} 材では前報で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ば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。これに対して衝撲荷重下では上述の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ば挙動を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。この考えでは衝撲荷重下の結果をうすく説明ではない。母材において衝撲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て考



(b) Pweld材の場合

(c) Nweld材の場合

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1は負であるので、圧縮荷重は引裂伝ばに寄与しないと考え、図6の整理は $\Delta K_{max} = \Delta K$ 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らずかなり異なる。すなはち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もわずかに大きく、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。

一般に大気中での衝撃疲労の da/dN は標準疲労のそれよりも大きくなり、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に必ずしもそのようになつていいない。海水中での腐食疲労を引裂伝ば挙動を考えると、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を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 2.5 Hz 、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、腐食疲労を引裂伝ば挙動が応力上昇時間に著しく影響を受ける、その時間が長いほど腐食の効果が顕著であった。これをここで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に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引裂伝ば加速効果の複

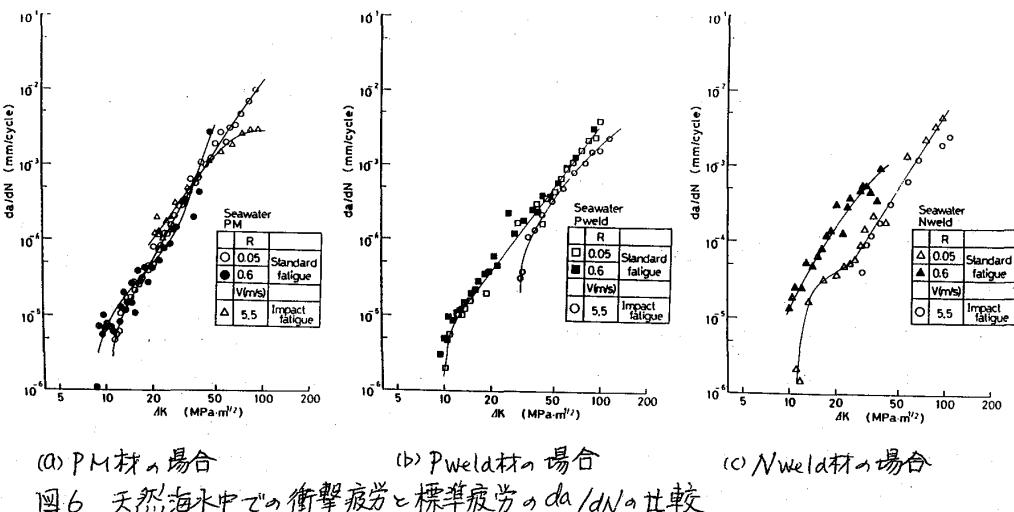
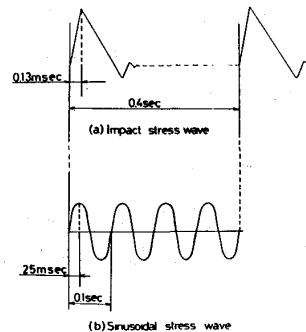
図6 天然海水中の衝撃疲労と標準疲労の da/dN の比較

図7 衝撃荷重波形と正弦波形の比較

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化している。

4 結言

ボイラ用鋼板の突合せ溶接継手について大気中と天然海水中の繰返し衝撃荷重下の腐食疲労を引裂伝ば速度を測定し、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ころとなる。

- 1) 大気中での衝撃荷重下の疲労を引裂伝ば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を引裂伝ば速度は母材が最も速く、溶接材ではあまり変わらなかつた。これらの差異が圧縮残留応力による結果である。
- 3) 溶接材において大気中と海水中での衝撃荷重下の引裂伝ば速度を比較すると両者はほとんど同じである。しかし母材では海水による引裂伝ば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を引裂伝ば速度を比べると、両者の関係は試験片によってかなり異なる。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)