

船体構造における超音波ピーニングを用いた 疲労強度改善に関する研究 第2報

正員 出口 貴則^{*1} 正員 毛利 雅志^{*2}
 正員 下田 太一郎^{*3} 加野 大地^{*4}
 正員 小汐 啓介^{*5} 正員 福岡 哲二^{*5}

A study on Fatigue Strength Improvement for Ship Structures by Ultrasonic Peening Part 2

by Takanori Deguchi, *Member* Masashi Mouri, *Member*
 Taichiro Shimoda, *Member* Daichi Kano
 Keisuke Koshio, *Member* Tetsuji Fukuoka, *Member*

Key Words: Ultrasonic Peening, Fatigue Strength

1. 緒言

超音波ピーニングは、先端に曲率を有するピンを連続的に対象箇所へ打刻することにより、溶接止端形状の改善、圧縮応力場の導入などの効果によって、疲労強度の改善効果を得る手法である¹⁾。第1報では、超音波ピーニングによる疲労強度の改善効果に関して検証を実施した²⁾。船舶への適用を考えた場合、船体構造は建造から就航後まで、各構造部材に作用する荷重は様々な変化をたどるため、陸上構造物に比べ内部応力が変化しやすい特徴がある。そのため、超音波ピーニングによる疲労強度改善効果の主な要因のひとつである、施工時に導入された圧縮残留応力が変動し、この内部応力の変化が及ぼす影響を検証しておく必要がある。本研究では、特に実船適用段階での超音波ピーニングによる疲労強度改善手法の問題点、および、その解決法について考察する。

2. 船体構造への適用に関する問題点

2.1 過大荷重の影響 - 超音波ピーニング施工後

第1報では、超音波ピーニングの基本的な効果を確認したが、過大な引張荷重が作用した場合、除荷時に圧縮応力が更に導入され、疲労強度は更に向上する傾向があり、逆に過大な圧縮荷重が作用した場合、除荷時に圧縮応力が開放され、超音波ピーニングによる疲労強度の改善効果が薄れる傾向を確認している²⁾。超音波ピーニングによる疲労強度の改善手法は、橋梁など主に陸上構造物に対して適用されてきたが、船体構造への適用に関しては、波浪による不規則な荷重が作用するため、荒天時において降伏応力程度の過大荷重が作用する可能性が比較的高い。そのため、超音波ピーニングの施工箇所は、過大な圧縮応力が発生しにくい箇所を選定したほうが、持

続的な効果が期待できると考えられる。

2.2 荷重状態の影響 - 超音波ピーニング施工前

就航後において波浪荷重が構造部材に過大荷重を発生させる一方、船舶や海洋構造物の建造過程に着目すると、陸上建造段階と進水後では、船体構造に作用する浮力によって、船体構造の荷重状態が大きく異なることに注意しなければならない。静水縦曲げモーメントによって船体変形が生じるため、特に上甲板付近や船底付近では、構造部材の内部応力の変化が比較的大きくなる。超音波ピーニングを施工する場合、作業性などの観点からブロック段階での実施が望まれるが、進水時の浮力の発生により、施工箇所に引張荷重が定常的に作用した場合、導入された圧縮残留応力に影響を与える可能性があるため、その影響を検証しておく必要がある。

3. 試験方法

3.1 試験内容

建造段階における荷重状態の変化が、超音波ピーニングによる疲労強度の改善効果に与える影響を検証するため、陸上建造段階、及び進水後に縦曲げを受ける上甲板付近の部材への施工を想定し、超音波ピーニングの施工時期をずらした2ケースについて疲労試験を実施した。

<ケース1 陸上建造時の超音波ピーニング施工>

超音波ピーニングを施工したのち、平均応力を負荷し、疲労試験を開始した。

<ケース2 進水後における超音波ピーニング施工>

疲労試験時の平均応力を負荷してから超音波ピーニングを施工し、その後疲労試験を開始した。

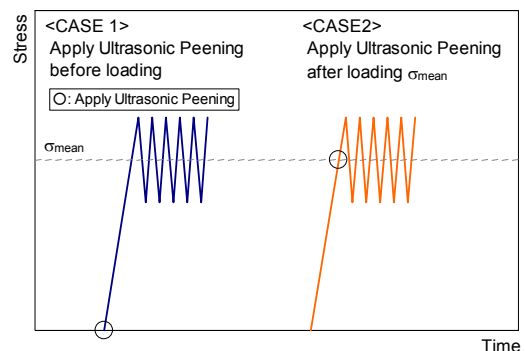


Fig. 1 Loading cases for fatigue strength test

^{*1} 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド
^{*2} 株式会社 IHI
^{*3} 株式会社川崎造船
^{*4} 川崎重工業株式会社
^{*5} 三井造船株式会社

3.2 試験体

角回し溶接継手を有する試験体を用いて、疲労試験を実施した。試験体の材料は高張力鋼(KA36)を用い、超音波ピーニングは、角回し溶接の溶接止端部のみ施工した。

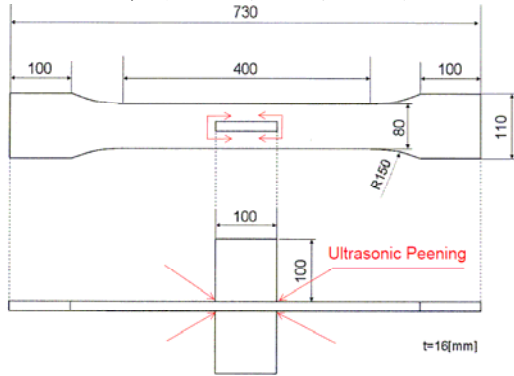


Fig. 2 Fatigue test piece

4. 試験結果及び考察

4.1 疲労試験結果

疲労試験で得られた結果を Fig. 3 に示す。なお、比較のため、第1報で示した、As weld 材、超音波ピーニング施工材(応力比 $R=0$)試験結果も併せて記載している。

Fig. 3 によると、陸上建造時での施工を想定したケース1は、As Weld 材と同程度の疲労強度となっていることがわかる。一方、進水後の施工を想定したケース2は、超音波ピーニング施工材(応力比 $R=0$)での試験よりも疲労強度が向上する結果となった。

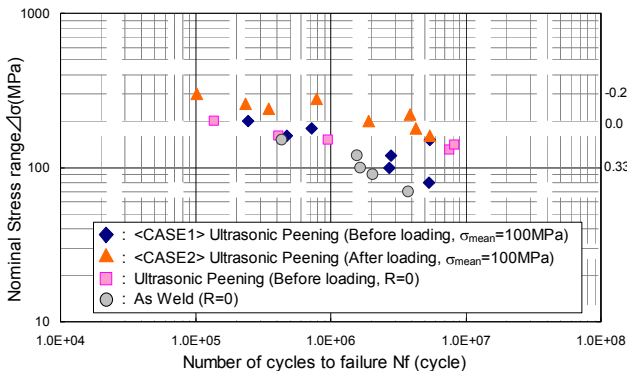


Fig. 3 Effect of time for application of ultrasonic peening

4.2 考察

超音波ピーニングの施工時期が異なる、ケース1とケース2の疲労強度の違いに関して、完全弾塑性体モデルを仮定し、き裂の起点となる溶接止端部の局所的な応力-ひずみ挙動を考察する(Fig. 4)。まず、溶接直後は降伏応力程度の引張残留応力が生じるため、(1)の状態となる。ケース1の場合、次に超音波ピーニングの施工により圧縮残留応力が導入されるため、(2a)の状態となる。この状態で引張平均応力が作用すると、応力集中係数を考慮した場合、残留応力は引張応力場まで変化してしまい、(3a)の状態となる。(3a)を基点として振幅が開始されるため、全体的に引張応力場で応力振幅が繰り返され、超音波ピーニングによる疲労強度の改善効果が As Weld 材((2d)-(3d)で振幅)と同程度となってしまったと考えられる。

一方、ケース2の場合、溶接直後の(1)の状態では引張平均応力が作用すると、ひずみが大きくなり(2b)の状態となる。この状態で超音波ピーニングを施工すると、圧縮応

力が導入され(3b)の状態となる。(3b)を基点として、応力振幅が生じるため、全体的に圧縮応力場で応力振幅が繰り返され、超音波ピーニングによって疲労強度が向上する結果となったと考えられる。ケース2と超音波ピーニング施工材(応力比 $R=0$)の応力状態を比較すると、ケース2は超音波ピーニング施工後の(3b)を中心に応力振幅が生じているが、超音波ピーニング施工材(応力比 $R=0$)は超音波ピーニング施工後の(2a)を最小応力としているため、より圧縮側で応力振幅が生じているケース2の方が良い疲労強度を示したものと考えられる。

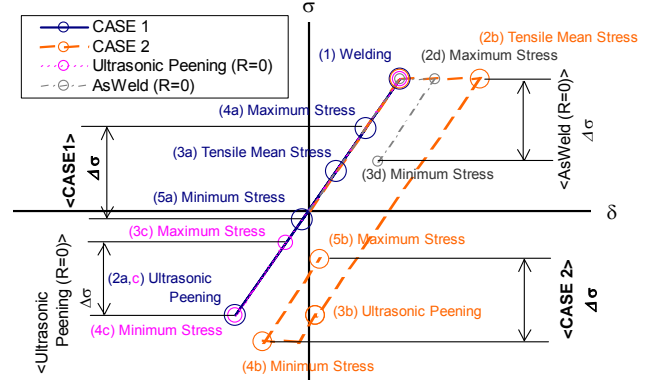


Fig. 4 Process of stress fluctuation

5. 船体構造への適用

超音波ピーニングによる疲労強度改善手法の船体構造への適用に関して、波浪荷重による過大荷重の影響と、浮力による荷重状態の変化による影響を考慮すると、過大な圧縮応力が発生しにくい箇所を対象とし、引張荷重状態で施工する手法がより持続的かつより効果的な方法であると言える。具体的には、積み付け状態によらず静水縦曲げモーメントが常にホギングとなるコンテナ船等の上甲板周辺の構造などに進水後に施工した場合、特に有効であると考えられる。

6. 結言

本研究では、超音波ピーニングによる疲労強度改善手法の船体構造への適用に関して、問題点の整理、及び検証を実施し、以下の結論を得た。

- ・ 引張平均応力作用時に超音波ピーニングを施工すると、高い疲労強度向上効果が期待できる。
- ・ 建造段階では、進水時に浮力が作用するため、進水前後で船体構造の応力状態の変化が生じる。その際に、圧縮残留応力が開放されてしまう可能性があるため、進水後に超音波ピーニングを施工したほうが効果的である。
- ・ 具体的には、コンテナ船等、静水縦曲げモーメントが常にホギングとなる船の上甲板周辺の構造などに進水後に施工した場合、特に有効であると考えられる。

参考文献

- 1) Y.Kudryavtsev, J.Kleiman, L.Lobanov, V.Knysh, and G.Prokopenko : Fatigue Life Improvement of Welded Elements by Ultrasonic Peening, International Institute of Welding, IIW Doc. XIII-2010-04.
- 2) 原, 下田, 出口, 毛利, 福岡, 小汐, 加野: 船体構造における超音波ピーニングを用いた疲労強度改善効果に関する研究 第1報, 本講演会論文集, 2010.