

簡易なピーニング処理による疲労強度の改善効果の評価

東京工業大学大学院 学生会員 ○田井政行
 東京工業大学大学院 フェロー 三木千壽
 東京工業大学大学院 学生会員 関屋英彦

1. はじめに

急激な形状変化による応力集中や溶接によって導入される引張残留応力は、溶接継手部の疲労強度に大きな影響を与える。この改善方法として、形状変化を緩やかにするグライディング処理、圧縮残留応力を導入する UIT や LTT 溶接等の提案がなされてきた。しかし、この改善方法は特殊な装置や溶接材料を用いるため高コストとなる。橋梁中で疲労強度の改善が必要となる継手は限られており、少数箇所への適用を考えると、時間を要しても簡易な方法が必要である。そこで本研究では、疲労強度改善方法として低コストのピーニング処理方法を提案すると共に、その疲労強度の改善効果について評価を行う。

2. 疲労試験

図1にSM570を用いた試験体を示す。本試験では、As-Weld試験体とPeening試験体の2種類を作成した。ピーニング処理においては、止端部で巻込みが生じやすく、そのような場合には疲労強度の改善効果がない¹⁾。従って、グライnder処理により止端部の局所的な形状を改善し、ピーニング処理により圧縮残留応力を導入することが必要である。ここでのピーニング処理は、図2に示す市販されている塗装をはがすための電動はく離機を用いて行った。グライnder及びピー

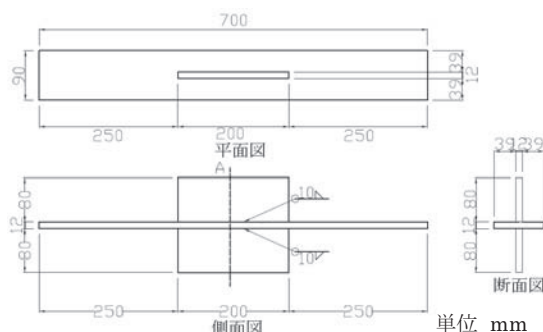


図1 SM570を用いた試験体形状



図2 電動はく離機

ニング処理に要した時間は止端一箇所約15分である。これらの試験体を用いて、ビーチマークが5万回毎に入るように疲労試験を行った。破面の写真を図3に示す。

図4にJRA指針の設計S-N曲線と実験結果との比較を示す。As-Weld試験体の疲労強度はF等級からG等級の間に位置する、Peening試験体は、B等級からE等級に改善されていることがわかる。

ここで疲労寿命Nをき裂発生寿命 N_c とき裂進展寿命 N_p の合計であり、それぞれを分けて考える。ただし、 N_p 及び N_c はビーチマークの本数及び疲労試験中に定期的に測定を行った止端中央近傍に貼り付けたひ

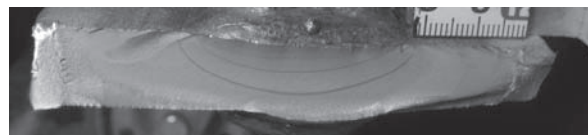


図3 ビーチマークを残した破面

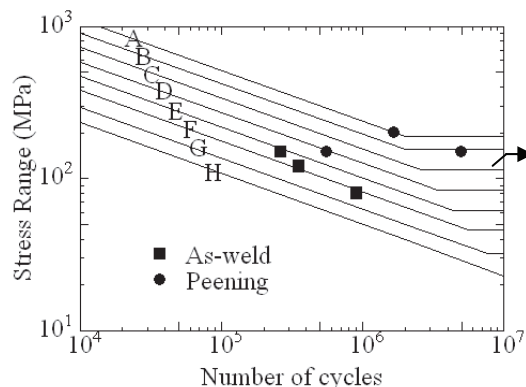
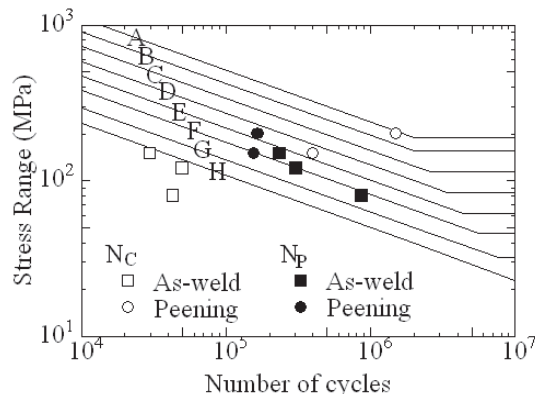


図4 S-N曲線と実験結果

図5 S-N曲線と N_p 及び N_c の実験結果

キーワード ピーニング処理 応力集中 残留応力 疲労強度改善

連絡先 東京工業大学理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 M5-3)

ずみゲージの値が 5%低下した時の载荷回数より算出した．両者の結果は，おおむね一致している．

図 5 に設計 S-N 曲線と N_P 及び N_C の実験結果を比較したものを示す． N_P の結果を見ると As-Weld 試験体の結果は F 等級から G 等級, Peening 試験体の結果は E 等級から G 等級の間にプロットされており, 両者に大きな差は見られない．次に N_C の結果を見ると, As-Weld 試験体の結果は H 等級以下, Peening 試験体の結果は B 等級から F 等級の間にプロットされており, 両者には明らかな差異が見られる．

これより Peening 及びグラインダー処理は, 発生後のき裂進展に関して影響を与えず, き裂発生寿命 N_C に影響を与えたことがわかる．

この疲労強度改善の理由を応力集中と残留応力の二点より評価を行う．応力集中については FEM 解析を行うことで評価し, 残留応力については切断法による残留応力測定することによって評価する．

3. 三次元 FEM 解析

三次元 FEM 解析を用いて, 溶接止端部の形状変化に伴う応力集中の変化を評価する．まず, As-Weld および Peening 試験体の止端形状を測定した．測定値を平均したものを表 1 に示す．この結果を用いて, 図 6 (a) に示すように 8 分の 1 モデルを作製し, さらに図 6 (b) のようにサブモデルを作成することによりサブモデル解析を行った．止端部に用いたそれぞれのモデルの最小メッシュサイズは, 止端の曲率半径の 50 分の 1 とした．

図 7 に FEM 解析によって得られた Von-Mises の等価応力の結果を示す．溶接止端部における最大の応力集中係数を計算すると, As-Weld 試験体では 4.97 となり, Peening 試験体は 3.24 となった．したがって, 溶接止端部において応力集中が緩和できていることがわかる．これにより, 応力集中の緩和がき裂発生寿命

表 1 解析に用いた幾何的パラメータ

	曲率半径 (mm)	フランク角 (°)
As-weld	0.5	140
Peening	1.5	140

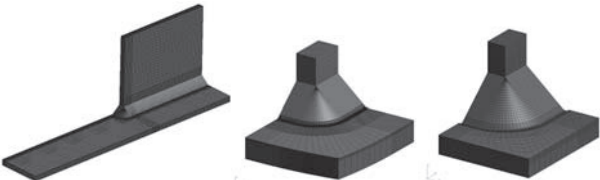


図 6 (a) グローバルモデル (b) サブモデル



図 7 解析結果



図 8 残留応力測定

の N_C に寄与したと考えられる．

4. 切断法による残留応力の測定

ピーニング処理による残留応力の変化を切断法により測定を行った．ビーチマークを残した破面を観察すると, 疲労き裂は板幅中央の溶接止端から発生していることがわかる．そこで, 図 8 に示すように溶接止端の板幅中央の表面にひずみゲージを貼付し, 切断を行った．切断した厚さは, 約 1mm である．これより, 残留応力が As-Weld 試験体では, 引張 100MPa となり, Peening 試験体は, 圧縮 300MPa 程度となった．従って, 疲労き裂が発生する溶接止端では残留応力が軽減され, さらに圧縮の残留応力が導入されたことがわかる．また, この結果より引張残留応力が軽減されることによりき裂発生寿命 N_C に影響を与えたと考えられる．

5. 結論

疲労強度の改善方法として, 電動はく離機を用いた簡易なピーニング処理を提案した．このピーニング処理を用いることで疲労強度は 2 等級以上向上するがわかった．また, この処理は, き裂発生寿命 N_C に対して有利な影響を与えることが明らかとなった．その理由として, グラインダー処理によって止端形状が変わり, 応力集中を緩和させることができる点や, ピーニング処理によって引張残留応力を低減できる点が挙げられる．

最後に, 本研究は, 社団法人日本鉄鋼連盟の鋼構造研究・教育助成制度の研究補助金をうけて行ったことを付記する．

参考文献

1)穴見健吾, 三木千壽, 谷秀樹, 山本晴人: ハンマーピーニング及び TIG 処理による溶接継手部の疲労強度向上法, 土木学会論文集 Vol.647, pp.67-78, 2000-4