

ハンマーピーニング処理による溶接継手部の変動振幅荷重下の疲労強度改善効果

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 学生会員 大西 諒
 東京工業大学大学院 フェロー 三木千壽

1. はじめに

橋梁や航空機、船舶及びクレーンガーダー等の鋼構造物の疲労は、一定振幅応力ではなく変動振幅応力による。一方、これまでに提案・検討された疲労強度改善処理のほとんどは、一定振幅応力疲労試験によって改善効果が検討されており、変動振幅応力下での効果についてはさほど明らかにされていない。そこで本研究では、ハンマーピーニング処理による面外ガセット溶接継手部の変動振幅応力下での疲労強度改善効果を明らかにすることを目的とする。

2. 変動荷重

道路橋において実況での応力範囲の測定結果は極端に低応力側に偏った変動振幅応力となっている¹⁾。本研究の疲労試験での変動応力の頻度分布には形状母数に 1.8, 尺度母数に 28.0 を用いたワイブル分布を用いた。本分布によって鋼製道路橋の部材に生じる応力の頻度分布とよく一致することは確認している。疲労試験の荷重範囲は、最大公称応力が 270MPa, 最小公称応力が 5MPa とした。

既往の研究より、変動振幅荷重下の溶接継手部の疲労強度は、同一の応力範囲ヒストグラムを有している場合でも応力波形形状によって疲労強度が異なることが報告されている²⁾。そこで図-2 に示すように、最大応力を一定とした Down 型応力波形、最小応力を一定とした Up 型応力波形の 2 つを用いて疲労試験を行った。

3. 疲労試験

図-3 に試験体形状を示す。試験体に用いた鋼種は SBHS500 である。処理条件は溶接まま、グラインダによる止端部のクリーニング処理のみ（以下、クリーニング処理）、クリーニング処理とハンマーピーニング処理を組み合わせた処理（以下 CP 処理）である。载荷は一軸引張、変動振幅荷重疲労試験にあわせて、一定振幅荷重疲労試験も行った。

一定振幅荷重疲労試験の結果を図-4 に示す。図にはこれらの結果より得られた平均線もあわせて示す。図よりクリーニング処理及び CP 処理を施すことで、疲労寿命が大幅に改善されたことがわかる。とりわけ、CP 処理では低応力範囲での改善効果が高い結果となった。既往の研究よりクリーニング処理と CP 処理はほぼ同じ処理面形状であるため、応力集中状態は等しく、表層部の残留応力場のみが異なることがわかっている³⁾。それゆえ、両者の疲労寿命の差異はこの残留応力の差異によるものである。

る。

変動振幅荷重疲労試験の結果及び一定振幅荷重疲労試験結果より得られた平均線を図-5 に示す。等価応力範囲の算出にはマイナー則及び修正マイナー則を用いた。ただし溶接ままについては疲労限が得られていないため、修正マイナー則のみの結果を示す。各止端処理条件における線形累積被害則の計算結果を表-1 に示す。

修正マイナー則に従って整理した結果より、CP

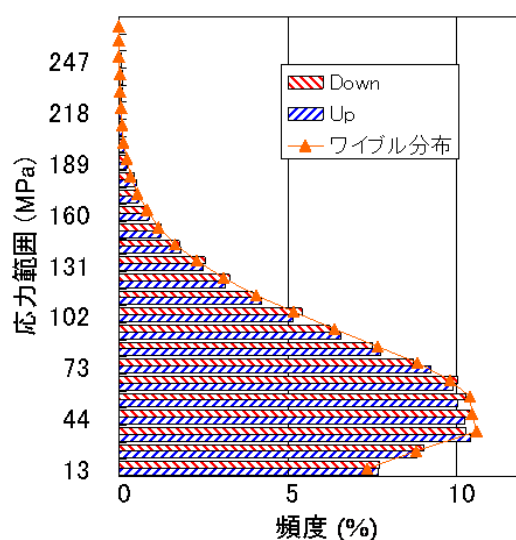


図-1 頻度分布のヒストグラムとワイブル分布

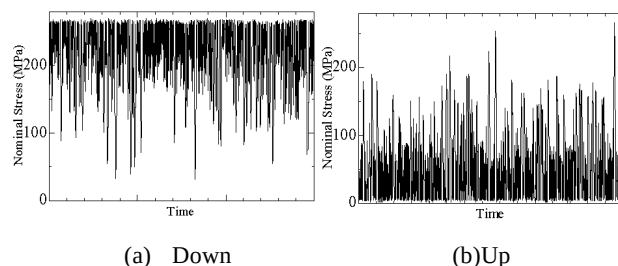


図-1 応力波形形状

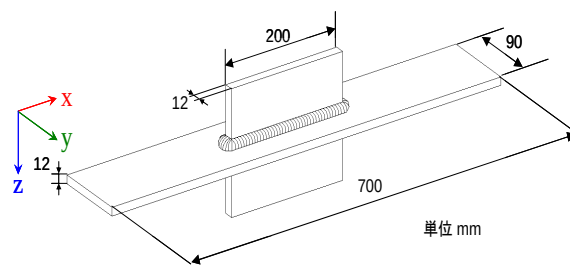


図-3 試験体寸法

キーワード 変動振幅荷重, マイナー則, ハンマーピーニング処理, 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)

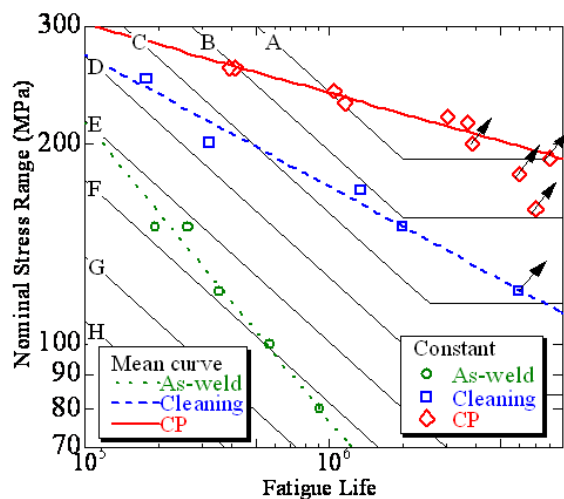


図 - 4 疲労試験結果（一定振幅荷重疲労試験結果）

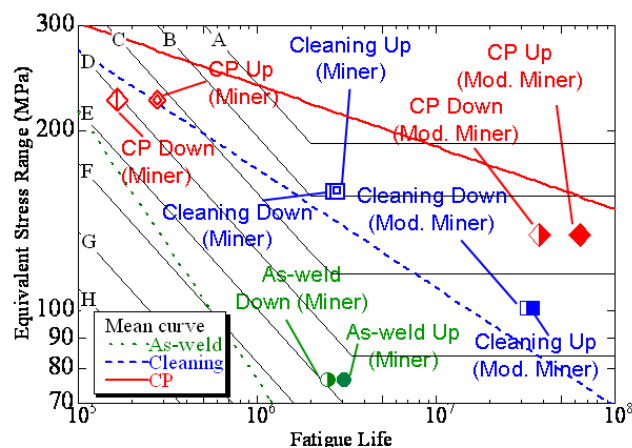


図 - 5 疲労試験結果（変動振幅荷重疲労試験結果）

処理及びクリーニング処理によって疲労強度が改善され、その改善効果は CP 処理がクリーニング処理を上回るといえる。応力波形形状に着目すると溶接ままやクリーニング処理では 2 つの波形形状の間の疲労寿命の差異は、ほとんど確認されなかったが、CP 処理においては Up の方が Down より長い疲労寿命を示していることがわかる。これより圧縮残留応力場が存在する場合、疲労寿命は応力波形形状に大きく依存するものといえる。

一定振幅荷重疲労試験の平均線と比較すると、マイナー則を用いて等価応力範囲と疲労寿命を評価した場合、クリーニング処理及び CP 処理の疲労試験結果は、全てクリーニング処理の平均線付近にプロットされる。それゆえ、マイナー則に従って損傷度を計算した場合、破断時の損傷度が CP 処理では 0.16 や 0.09 といった極めて低い値となったといえる。一方、クリーニング処理では 1.8 前後であり、クリーニング処理ではマイナー則を用いても安全側に疲労寿命を推定できるといえる。

修正マイナー則を用いた場合、溶接まま及びクリーニング処理の疲労寿命は、一定振幅荷重疲労試験結果の平均線の延長線よりも疲労寿命が長い側にプロットされていることがわかる。しかしながら

表 - 1 損傷度一覧

試験体と载荷条件	損傷度	
	マイナー則	修正マイナー則
As-weld Down	-	2.30
As-weld Up	-	2.82
Cleaning Down	1.74	2.18
Cleaning Up	1.84	2.31
CP Down	0.09	0.15
CP Up	0.16	0.24

CP 処理が施されたものは、平均線の下側にプロットされている。修正マイナー則による損傷度の計算結果は、溶接まま及びクリーニング処理では両波形とも 2.0 以上、CP 処理では 1.0 を大きく下回る結果となった。これより、マイナー則と修正マイナー則のどちらを用いても CP 処理による変動振幅荷重下での疲労強度改善効果は、一定振幅荷重疲労試験で得られた改善効果を下回るといえる。

損傷度におけるマイナー則と修正マイナー則の違いは、疲労限以下の応力範囲が与える損傷度である。この割合は修正マイナー則により得られた損傷度のクリーニング処理ではおよそ 20%、CP 処理では 35%程度であり、CP 処理では疲労限以下の応力範囲による損傷がクリーニング処理よりも大きいといえる。つまり一定振幅荷重疲労試験結果で見られるような低応力範囲での顕著な改善効果は変動応力下では失われるといえる。

4. 結論

- 1) 面外ガセット溶接継手部の変動応力下の疲労強度は、ハンマーピーニング処理によって改善されるが、低応力範囲での改善効果が失われて一定振幅荷重疲労試験での改善効果を下回る。
- 2) 本処理による変動振幅応力下の疲労寿命を修正マイナー則を用いて評価した場合、危険側の評価を与える。
- 3) マイナー則によって CP 処理の疲労試験結果を評価した場合、低応力範囲での改善効果の影響が加味されず、クリーニング処理したものと同程度の疲労強度を示す。
- 3) 表層に圧縮残留応力が存在する場合、応力波形形状によって疲労寿命が大きく異なる傾向がある。

参考文献

- 1) 三木千壽, 豊田幸宏, 森猛, 榎土尚宏: 鋼桁ディテールの道路橋シミュレーション荷重疲労, 構造工学論文集, Vol.35A, pp.951-960, 1989.
- 2) Yan-Hui Zhang and S.J.Maddox: Investigation of fatigue damage to welded joints under variable amplitude loading spectra, *Int. J. of Fatigue*, Vol.31, pp.138-152, 2009.
- 3) M. Tai, C. Miki and K. Suzuki: Mechanism of fatigue strength improvement by applying peening treatment, *EASEC12-438*, 2011.