201 溶接止端部にき裂を有する構造用圧延鋼のピーニングによる 疲労限度向上およびき裂の無害化

Improvement of Fatigue Limit and Rendering Crack Harmless by Peening for Rolled steel Containing a Crack at the Weld Toe Zone

○ 関口 祐司 (小山高専 専攻科)
正 高橋 宏治 (横浜国立大学院)

正 北條 恵司 (小山高専 機械工学科)

Keiji HOUJOU, Oyama National College of Technology, Dept. of Mechanical Engineering.

Yuji SEKIGUCHI, Oyama National College of Technology, Advanced Engineering Course 771 Nakakuki Oyama tochigi, 323-0806 Japan

Koji TAKAHASHI, Yokohama National University Institute 79-1 Tokiwadai Hodogaya-ku Yokohama, Kanagawa 240-8501, Japan

This study describes an investigation of the effect of peening on the fatigue limit of rolled steel containing a crack at the weld toe. 3-point bending specimens with a weld zone were prepared for fatigue test. An artificial semi-circular slit was made into the weld toe, and subsequently the weld toe was peened by needle-peening. Next, bending fatigue tests were carried out. The following results were obtained. (1) The fatigue limits of specimens containing a slit improved considerably by peening. (2) The fracture occurred from outside the slit. Moreover, the specimens recovered to fatigue limits up to that of non-slit specimens. (3) The fatigue limit improved greatly and when the specimen which introduced the slit constructs peening disposal showed the fatigue limit comparable as the specimen which has not introduced the slit. The progress rate of a fatigue limit is going up sharply with 30-45%.

Key Words: Fatigue, Peening, Crack, Weld zone, Rendering Crack Harmless

1. はじめに

船舶、橋、貯蔵タンクなどの大型構造物には、多くの箇所に溶接が施されている。その溶接箇所において、溶接止端部は引張残留応力の存在や形状の変化により疲労き裂の起点となり、破壊に至る事故に繋がるということが知られている。さらに現在使用されている貯蔵タンクなどの圧力容器は使用開始から 40 年を超えるものが多く使用されており、その安全性が保障できるかが盛んに議論されている。これらの大型構造物では使用時に支障をきたすような疲労き裂が発生した場合、構造部のすべてを交換しなくてはならないため保全のための費用が非常に高額なものとなると予測される。だが、既に発生してしまったき裂に対し疲労強度を低下させないような無害なき裂に変えることが可能であれば、構造物の信頼性向上と共に保全にかかる費用も大幅に削減することができるだろう。

また、この疲労き裂による疲労破壊を抑制する手法としてピーニング処理による圧縮残留応力導入が研究されている。しかし、既にき裂を有した溶接部の疲労限度向上に関する研究は例を見ない。そこで本研究は溶接部付近に人工き裂（スリット）を導入し、その後超音波ピーニングを施し、疲労限度の向上挙動を調査、検討することを目的としている。

2. 供試材及び実験方法

2-1 供試材

供試材は溶接構造用圧延鋼材 SM490A を用いた。引張強さは 490~610(N/mm²)、硬さは約 HV170 である。Table.1 に材料の成分系を示す。炭素量は 0.15% で 0.2% 耐力が 371MPa である。また、Fig.1 に供試材を示す。供試材は 3 点曲げ疲労試験用で、支点間距離 100mm、厚み 20mm である。

この鋼材の溶接止端部から外側 0.5mm 以内の位置 A 部に機械加工で人工き裂(以降ではスリットと呼ぶ)を導入した。導入したスリットは a=0.4, 0.8, 1.2mm の三種類である。

Fig.1 test specimen

Chemical composition [%]				
C	Si	Mn	P	S
0.15	0.32	1.11	0.018	0.005

Tensile test [MPa]	
0.2%proof	Tensile strength
371	511

Table1 Chemical composition and tensile test of SM490A

2-2 ピーニング施工

スリット導入後にピーニング処理を行った。Fig.2 に示すようにスリット部を含めた溶接止端部①には東洋製鋼製エアースタイルピーニングを 3mm、また止端部の外側 20mm の範囲②に溶接の際の熱影響による応力状態の改善を目的として同社製超音波式ボアードガンタイプピーニングをそれぞれ施工した。それぞれのピーニング条件は Table.2 に示す。①のニードルピーニング(PPP)は先端半径 1.5mm の 1 本の鋼製ピンにエア圧力を直接かけるため、ピンの形のくぼみ(塑性変形を起こす)ができる。②の超音波式ピーニング(UNP)は 18 本のピンに超音波振動(20kHz)を伝達し平面的な加工ができる。共に伝達エネルギーが大きく、アークハイトの測定範囲を超えてしまったため測定ができなかった。本研究では Fig.2 に示したように①と②を組み合わせ加工を行った。以降この加工をピーニングと呼ぶ。

Fig.2 detail of peening zone

Weld toe		HAZ	
① (PPP)		② (UNP)	
Air pressor	0.5 MPa	Frequency	20 kHz
Radius of needle tip R=	1.5 mm	Amplitude	40 μ m
Coverage	> 100%	Coverage	> 100%

Table2 Peening conditions

2-3 実験方法

室温大気中にて繰り返し3点曲げ疲労試験を行った。試験機は島津製作所製サーボパルサー50kN、荷重条件は $R=0.05$ 、繰り返し周波数 $f=20\text{Hz}$ の正弦波応力波形、荷重一定制御である。疲労試験の打ち切り回数は $N_f=5 \times 10^6$ 回、応力振幅の5%以内に破断と破断しなかった試験が両方現れたとき、破断しなかった応力振幅を疲労限度とした。

3. 実験結果

Fig.3にS-N線図を示す。グラフ内の黒点はピーニング施工無し、白点はピーニング施工有りを示している。また矢印 $\rightarrow$ は繰り返し数 $N=5 \times 10^6$ まで未破断で、試験を打ち切ったことを示し、()内の数字は疲労限度を示す。ピーニングを施した試験片ではスリット以外の場所から破壊したものもあり、それを図中(*)で示している。また、図中にあるパーセンテージは、ピーニング無しの試験に対するピーニング有りの試験の疲労限度の向上率を示す。

疲労試験結果から、ピーニングの施工により疲労限度が大きく向上していることがわかる。疲労限度の向上率はスリットを導入していない場合、30%前後、導入した場合に40%前後と、スリットを導入した場合の疲労限度の向上率の方が高くなる傾向にある。

疲労限度向上の要因として、ピーニング施工によって溶接止端部近辺の残留引張応力が改善されたこと、また溶接止端部がピーニングによりピン先端半径まで変形し、応力集中が緩和されたことの二つの要因が考えられる。

Fig.3 S-N diagram

4. 結論

本研究によって得られた結果は次の通りである。

- (1) スリットを導入した試験片はスリット外から破壊を起こしている。このことから、ピーニング加工により止端部縁のスリットが疲労限度に及ぼす影響の消滅を確認できる。
- (2) 疲労限度向上の要因として、ピーニングにより溶接止端部の引張応力が改善されたこと、溶接止端部がピーニングにより変形したことで応力集中が緩和したことの二つが考えられる。
- (3) スリットを導入した試験片はピーニングを施工することにより、疲労限度が大きく向上し、スリット寸法1.2mmまでの試験片がスリットを導入していない試験片と同程度の疲労限度を示した。