

母材打撃ハンマーピーニングによって生成される残留応力分布とき裂進展への影響

JFE スチール 正会員 ○栗原 康行
 近畿大学 正会員 崎野 良比呂
 非正会員 植木 拳

1. 目的

近年、鋼構造物に多数の疲労き裂が見つかり、疲労強度向上の重要性が広く認識されてきている。そのため、様々な疲労強度改善手法が試みられており、その中でも ICR 処理¹⁾などは、き裂自体にピーニングを施し、き裂の進展を抑制する有力な疲労強度向上技術である。また、ICR を応用した母材打撃ハンマーピーニングは、既往の研究により普通鋼や高張力鋼での疲労強度向上効果が明らかになっており、新設もしくは疲労き裂の入っていない鋼構造物への適用性すると疲労寿命を延ばせることが明らかとなっている²⁾。本研究では、母材打撃ハンマーピーニング（以下、HP）を疲労き裂の先端に施工することによる進展防止・遅延（延命）効果について、初期人工き裂を導入した試験体の 4 点曲げ疲労試験により検討した。

2. 試験概要

試験体の形状・寸法を図 1 に示す。全面をフライス加工した板幅 40mm、長さ 300mm、板厚 11mm の試験体の中央に $\phi 5$ mm の貫通孔を明け、そこから板幅方向に長さ片側 2mm のスリットを $\phi 0.2$ mm のワイヤカットによって入れた。材質は SM490 である。HP を施した試験体（以降、HP）は、上記の疲労き裂を入れた後に、き裂線上にき裂の先端から 1mm 離れた位置から約 2mm の間隔で 3 線の HP（4 施工/1 ライン）施工した試験体（HP1～4）4 体と、比較のために HP を施工していない試験体（以降 NP と称す）に対して疲労試験を行った。HP の施工位置を図 2 に施工後の試験体の写真を図 3 に示す。なお、HP は片面のみに施工した。

試験体の HP 施工後、表面残留応力を測定した。残留応力の測定には、X 線回析法（Cos α 法：コリメータ直径 1mm、計測範囲直径 2mm）を用いた。測定位置を図 3 に示す。き裂の先端から約 5mm 離れた点を中心として長手方向に -20～20mm の 2mm 間隔で Y 方向の表面残留応力を測定した。

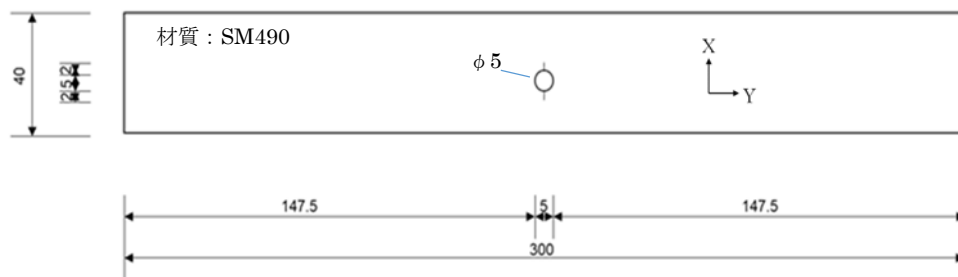


図 1 試験体の形状・寸法

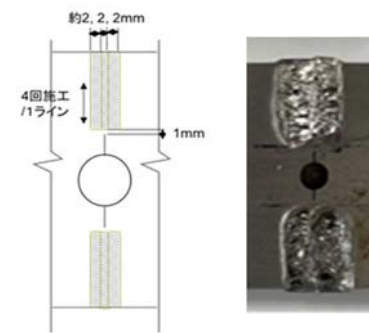


図 2 HP の施工位置

3. 残留応力測定結果

NP 試験体、HP 試験体の表面残留応力の一例（Y 方向残留応力）を図 4、5 に示す。ハッチ部が HP 施工されている部分であり、NP 試験体の計測結果にも同位置を点線で示した。

NP 試験体は全範囲で -150MPa 程度の圧縮残留応力が計測された。これは機械加工による極表層の残留応力であると考えられる。X 方向残留応力は +100MPa 程度の引張の残留応力となっていた。これに対し、HP 内の最大値は、中心部近傍で -400MPa 程度の大きな圧縮残留応力が計測されている。

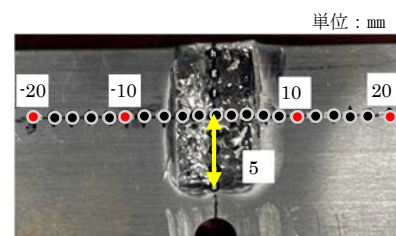


図 3 残留応力計測位置

キーワード 母材打撃ハンマーピーニング, ICR, 疲労, き裂, 進展, 圧縮残留応力

連絡先 〒210-0855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町 1-1 JFE スチール株式会社 TEL 044-322-6638

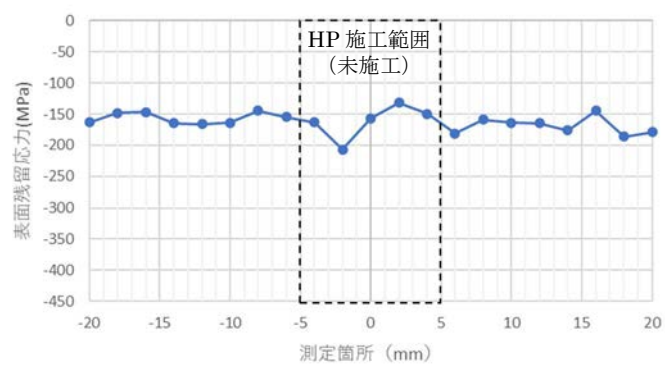


図4 表面残留応力分布の一例(NP)

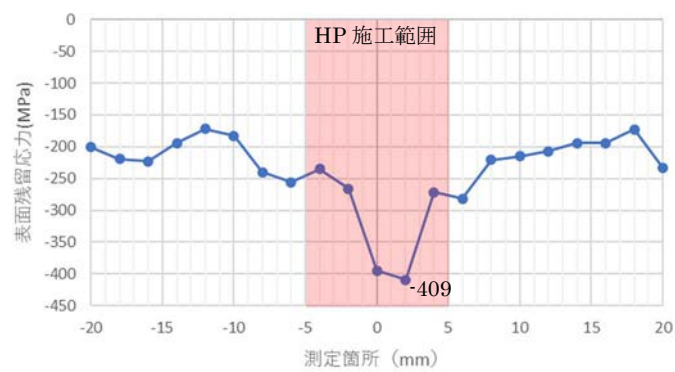


図5 表面残留応力分布の一例(HP)

4. 疲労試験

疲労試験は、100kN 疲労試験機を用いて 4 点曲げ疲労試験（写真 1）を実施した。応力比は $R=0.1$ 、試験の打ち切り限界は 500 万回とした。各試験体の応力範囲（100MPa、150MPa、及び、200MPa）と破断回数をまとめたものを表 1 に示す。HP 試験体は応力振幅 100MPa、150MPa の 3 体ともき裂が進展せずに打ち切り限界の 500 万回に到達したが、200MP では、189 万回で破断している。一方、NP 試験体では、全ての試験体でき裂が進展して破断している。表 1 の結果を SN 線図上にプロットしたものを図 6 に示す。図中には、JSSC の継手強度等級の B 等級と D 等級を参考に示した。また、斜め矢印は打ち切り限界 500 万回でもき裂が発生せず、ランアウトしたことを表している。HP 試験体は応力振幅 150MPa、及び、100MPa ではき裂の進展が見られないことから、150MPa 以下の応力振幅では、き裂進展方向の HP によりき裂の進展防止効果が認められる。一方、応力振幅 200MPa では NP 試験体の破断回数が 64 万回であるのに対して HP 試験体では、189 万回であり、約 3 倍の延命効果が見られた。



写真1 4点曲げ疲労試験実施状況

表 1 疲労試験結果（破断寿命）

試験体名	$\Delta \sigma$ (MPa)	破断回数 (500 万回打ち切り)
NP-1	100	282 万回
NP-2	150	173 万回
NP-3	200	64 万回
HP-1	100	>500 万回
HP-2	150	>500 万回
HP-3	150	>500 万回
HP-4	200	189 万回

5. まとめ

今回の試験条件の下では、き裂先端近傍に母材打撃 HP を施工することで最大で 400MPa 程度の圧縮残留応力が導入され、

- ① 150MPa 以下の繰り返し応力に対してき裂進展防止効果
- ② 200MPa の繰り返し応力では、寿命で約 3 倍の延命効果が得られている。

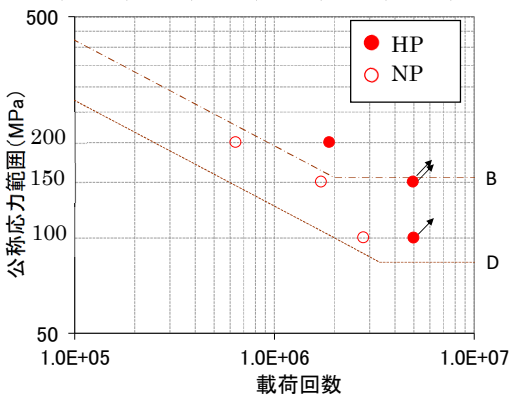


図6 HP による疲労寿命の延長効果

参考文献

1) 松本ら：ICR 処理された疲労き裂の引張および圧縮応力下での開閉挙動の解明、構造工学論文集 Vol.62A,pp.675-684,2016
2) 中西ら：母材打撃ハンマーピーニングによる溶接継手部の疲労強度向上方法に関する研究、土木学会論文集 A1,Vol71,No.1,10-19,2015