

過大負荷による表面処理材の残留応力緩和

Residual Stress Relaxation due to Overloading on A Surface Treated Material

利用者 竹田和也¹⁾、 秋田貢一²⁾、 佐野雄二³⁾、 齋藤利之³⁾、 大谷眞一¹⁾
 Kazuya TAKEDA, Koichi AKITA, Yuji SANO, Toshiyuki SAITO, Shin-ichi OHYA

所属 1) 東京都市大学、 2) 日本原子力研究開発機構、 3) 株式会社東芝

キーワード ピーニング、圧縮残留応力、過大荷重、応力緩和、その場中性子応力測定

1. 目的

省エネルギー、低コストなどの要請から、構造物や輸送機器においてはピーニングなどの表面処理によって表面に圧縮の残留応力を付与し、疲労強度や耐応力腐食割れ（SCC）性を高めている。一方、そうして付与した圧縮残留応力は、機器が実働中に受ける負荷により緩和する可能性がある。本課題では、表面処理材における引張過大荷重中の残留応力緩和挙動を把握することを目的とし、非破壊で構造物内部の残留応力測定が可能な中性子回折法を用いて検討した。

2. 方法

- ・試験片： 構造用鋼SM41（降伏点286MPa）。寸法形状を図1に示す。
- ・表面処理： 図1の斜線部（両面）にレーザーピーニング（LP）を施工した。
- ・引張負荷中のその場中性子応力測定： 図2のように、JRR-3の中性子応力測定装置RESA-1に手動引張負荷装置（変位制御）を設置して、引張負荷中の、試験片長手方向応力 σ_L の深さ分布の変化挙動を測定した。波長、回折面、ゲージ体積はそれぞれ、 1.64 \AA 、 $\alpha\text{Fe}211$ 、 $0.5 \times 0.5 \times 10 \text{ mm}^3$ とした。

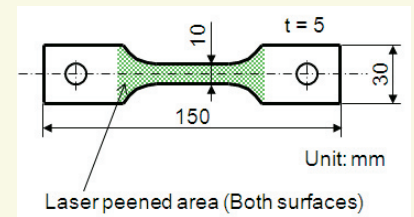


図1 試験片（SM41鋼）

3. 実験結果

図3は、試験片板厚(t=5mm)全体の残留応力分布の引張負荷に伴う変化を示す。初期段階(負荷応力 $\sigma_{ap}=10\text{MPa}$)では、両表面層にLPによる圧縮残留応力が発生し、また、内部にはそれにバランスする形で引張残留応力が存在している。負荷応力の増加とともに残留応力分布全体が引張側に推移し、 σ_{ap} が187MPaに達すると、内部の引張残留応力領域が降伏点に達する。これ以上の負荷応力では、この領域の応力上昇が停止し、一方で、表面近傍の圧縮残留応力は、急激に緩和し始めた。

図3を、負荷応力に対する各深さの応力の変化の形に整理し直した結果を図4に示す。 $\sigma_{ap}=187\text{MPa}$ 付近において試験片内部($z = 2, 2.5, 3 \text{ mm}$)が降伏し始め、それと同時に、表面近傍($z = 0.25, 0.5, 4.5, 4.75 \text{ mm}$)の圧縮残留応力が急激に緩和する様子が明瞭に示されている。なお、図3および図4において、試験片の表側と裏側とで、残留応力の挙動が若干異なっている。これは、LP施工状態で生じていた試験片のわずかな反りが、引張荷重によって元に戻るためと考えられる。また、図4の表面近傍のデータにうねりが見られるが、測定中に荷重が若干低下するためと考えられ、変位制御を荷重制御に変更することで改善されることが考えられる。

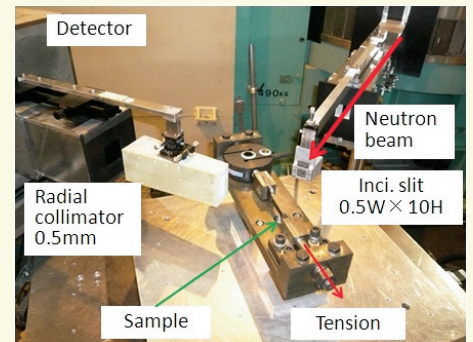


図2 RESA-1におけるセットアップ

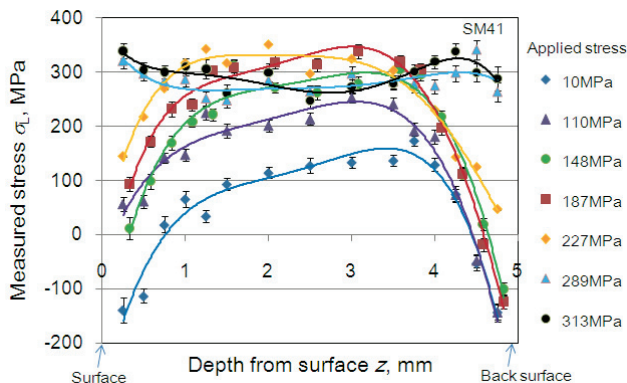


図3 全板厚内残留応力分布の引張負荷に伴う変化 (引張負荷状態で測定した応力)

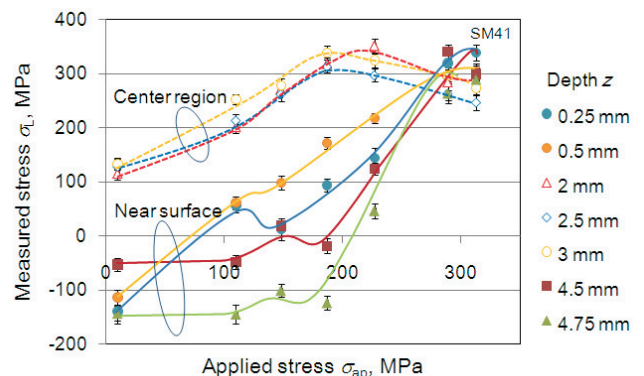


図4 引張負荷に伴う各深さの応力変化挙動 (引張負荷状態で測定した応力)

4. まとめ

表面処理によって表面層に圧縮残留応力を導入した試験片に引張過大荷重を負荷し、試験片全板厚内の残留応力の挙動を、中性子回折によってその場測定した。その結果、引張負荷を増加していくと、試験片内部のバランス引張残留応力領域で塑性変形が始まること、また、この塑性変形により残留応力の再配分が生じるため、表面層内の応力が降伏点に達するより前に、表面層内の圧縮残留応力が緩和し始めることなどが分かった。