

レーザーピーニングによって生成される残留応力の板厚方向分布に及ぼす照射条件の影響

大阪大学 接合科学研究所 正会員 ○崎野 良比呂
 大阪大学大学院 工学研究科 吉川 健一
 東芝 電力システム社 佐野 雄二
 大阪大学 接合科学研究所 正会員 金 裕哲

1. 目的

レーザーピーニングは、水等の透明媒質中に設置された材料に数 ns~数十 ns のパルス幅のレーザーを照射して高圧のプラズマを発生させ、その衝撃力を利用して材料表面の強度上昇を図る技術である。レーザーピーニングを行うと、材料の表面に大きな圧縮残留応力が生成されるため、応力腐食割れの防止に有効であることが知られている¹⁾。また、疲労強度の向上についてもその効果が期待される。そこで筆者らは、SM490 を用いた突合せ溶接継手試験体および HT780 を用いた回し溶接継手試験体の止端部にレーザーピーニングを施し、残留応力の変化と疲労強度の検討を行った。その結果、レーザーピーニングを施すことにより止端部は大きな圧縮の残留応力となること、疲労強度はレーザーピーニングを施すことにより大きく上昇することが明らかとなった^{2),3)}。本報では、気中においてノズルを用いてレーザーピーニングを施した場合、およびパルスエネルギーを小さくした場合に、生成される残留応力の板厚方向分布がどのように変化するか検討した結果を報告する。

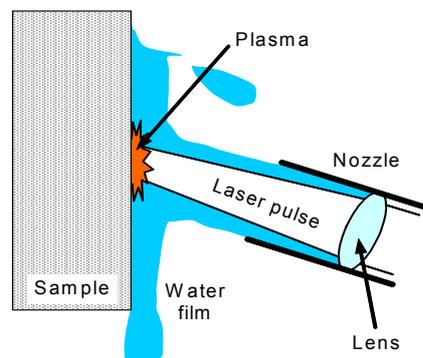
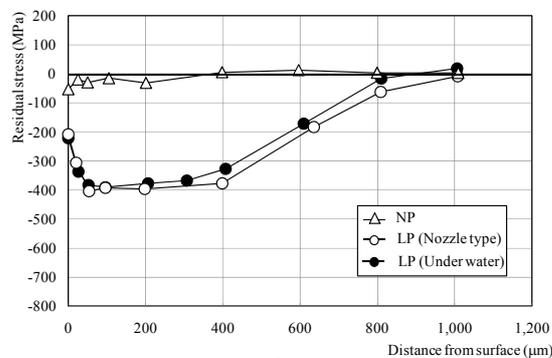


Fig.1 Laser peening process with water jet flowing from a nozzle.

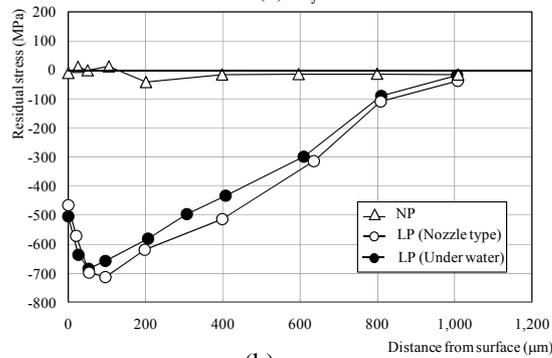
2. 水中施工と気中施工の比較

レーザーピーニングにより圧縮残留応力を効果的に生成するためには水膜が必要となる。これまでは試験体を水に沈めて施工していたが、水中での施工 (Under water と称す) では実構造物への適用は困難である。そこで、実構造物に適用可能な水を吹き付けながらレーザーを照射するノズルタイプの施工法 (Fig.1、Nozzle type と称す) を用いた場合、生成される残留応力の板厚方向分布が Under water と異なるか否かの検討を行った。供試材として厚さ 9mm の HT780 ($\sigma_T=804\text{MPa}$, $\sigma_U=823\text{MPa}$) を用い、表面に Under water, Nozzle type それぞれ 10mm×10mm の範囲でレーザーピーニングを施した。Under water であるか Nozzle type であるか以外の照射条件はすべて同一である。この照射範囲の中央部の残留応力の板厚方向分布を、X線回折法 ($\sin^2\phi$ 法) による残留応力の測定と電解研磨とを繰り返すことによって測定した。

測定結果を Fig.2 に示す。NP が黒皮ままの試験片、LP がレーザーピーニングを施した試験片の結果を示す。 σ_ξ がレーザーの移動方向の残留応力成分、 σ_η がそれと直角方向の残留応力成分である。Under water, Nozzle type いずれも、表面残留応力が σ_ξ で -200MPa 程度 σ_η で -500MPa 程度、最大残留応力が σ_ξ で -400MPa 程度 σ_η で -700MPa 程度となっている。また、Nozzle type でも Under water と同様に、1mm 程度と非常に深くまで圧



(a) σ_ξ



(b) σ_η

Fig.2 Residual stress distribution over thickness (HT780, 200mJ)

キーワード レーザーピーニング 残留応力 X線回折法 板厚方向分布 疲労強度

連絡先 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 1 1 - 1 大阪大学 接合科学研究所 T E L 06-6879-8667

縮残留応力が生成されていることが分かる。この様に、Under water と Nozzle type で生成される残留応力の板厚方向分布に違いは見られなかった。

3. パルスエネルギーの影響

これまで、パルスエネルギー200mJ で一連の研究を行ってきた。しかし、より小さなパルスエネルギーで疲労強度を向上させることができると、低出力レーザー発振器および小径の光ファイバー使用でき、装置の小型化や施工性の向上が図れる。そこで、パルスエネルギーの小さな照射条件が、生成される残留応力に及ぼす影響を調べるため、200mJ に加え 50mJ および 20mJ でレーザーピーニングを施し、残留応力の板厚方向分布を測定した。Table 1 に示すように、パルス毎のエネルギー密度が大きく変わらないように、スポット径も併せて変化させている。また、単位面積当たりの積算の投入エネルギーは、200mJ と比べて 50mJ では 50%、20mJ では 40%となっている。供試材は厚さ 9mm の SM490 ($\sigma_t=400\text{MPa}$, $\sigma_u=556\text{MPa}$) と 2 章と同じ HT780 を用いた。

測定結果を Fig. 3, 4 に示す。SM490 の場合、表面および最大残留応力は 50mJ および 20mJ でも 200mJ と同等の大きな圧縮残留応力が生成されていた。しかし、圧縮残留応力の生成深さは、200mJ で 1mm 程度であるのに対し、50mJ で 0.8mm 程度、20mJ で 0.3mm 程度と浅くなっていた。HT780 ではパルスエネルギーが小さくなると σ_η において表面および最大圧縮残留応力が減少する傾向が見られたが、20mJ でも表面で -300MPa 程度、最大で -600MPa 程度の圧縮残留応力が生成されていた。しかし、圧縮残留応力の生成深さは、200mJ で 1mm 程度であるのに対し、50mJ で 0.6mm 程度、20mJ で 0.3mm 程度と浅くなっていた。

4. まとめ

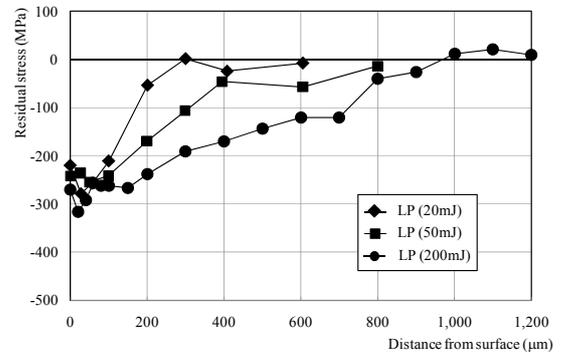
- (1) ノズルタイプのレーザーピーニングでも、水中施工と同等の大きさおよび深さの圧縮残留応力が生成される。
 - (2) 本研究で用いた照射条件の場合、パルスエネルギーを 20mJ に低下させても、表面には大きな圧縮残留応力が生成された。しかし、鋼材強度によらず、パルスエネルギーが小さくなると圧縮残留応力の生成深さが浅くなる傾向が見られた。
- 今後、照射条件と疲労強度との関係を明らかにすると共に、低出力でより深くまで圧縮残留応力が生成される照射条件の検討を行っていく予定である。

謝辞 本研究は科学技術振興機構(JST)「平成 21 年度シーズ発掘試験」および「平成 22 年度研究成果最適展開支援事業 フィージビリティスタディ【FS】ステージ」の補助を受けた。

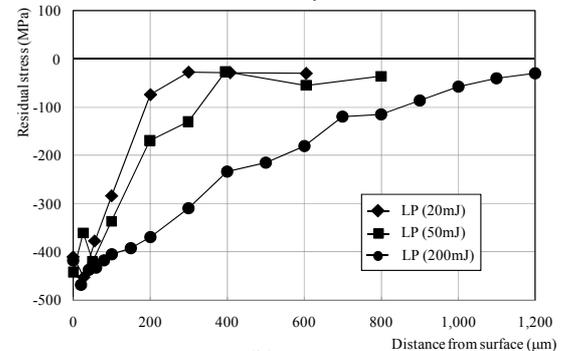
参考文献 1) Yuji SANO: Residual Stress Improvement on Metal Surface by Underwater Irradiation of High-Intensity Laser, Journal of Japan Laser Processing Society, 9, (2002), 163-170. 2) Yoshihiro SAKINO, Yuji SANO and You-Chul KIM : Improving Fatigue Strength with Laser Peening, Proceedings of National Symposium on Welding Mechanics and Design, (2006), 605-608. 3) Yoshihiro SAKINO, Kenichi YOSHIKAWA, Yuji SANO and You-Chul KIM : Effects of Laser Peening on Residual Stress and Fatigue Life of Welded Joints of High Strength Steel, Proceedings of National Symposium on Welding Mechanics and Design, (2009), 471-477.

Table 1 Laser peening condition.

Pulse energy (mJ)	Spot diameter (mm)	Irradiation Density (Pulse/mm ²)
200	0.8	36
50	0.45	72
20	0.3	144

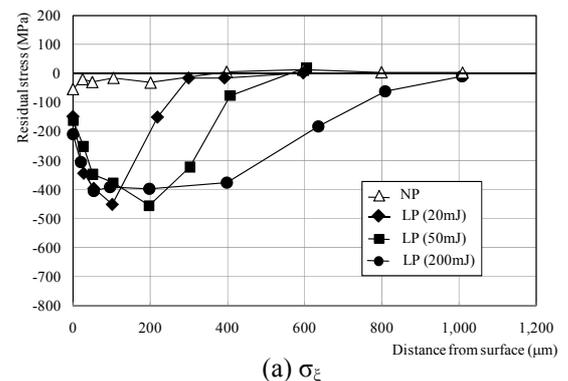


(a) σ_ξ

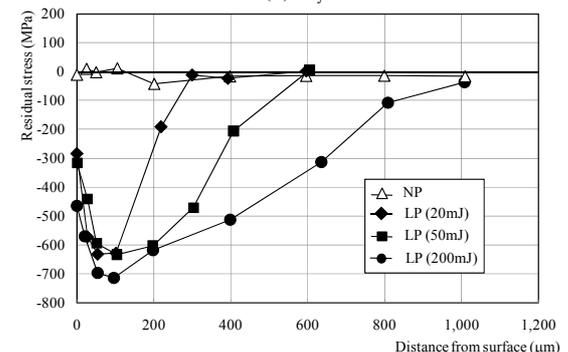


(b) σ_η

Fig.3 Residual stress distribution over thickness (SM490)



(a) σ_ξ



(b) σ_η

Fig.4 Residual stress distribution over thickness (HT780)