

大阪大学 接合科学研究所 学生員 ○植田 一史  
 正会員 堤 成一郎  
 正会員 Fincato Riccardo  
 京都大学大学院 工学研究科 正会員 石川 敏之  
 学生員 松本 理佐

1. 諸言

疲労き裂発生が懸念される箇所へのピーニング処理は各種鋼構造物の長寿命対策の一つとして広く採用されている。一方、この効果は特定の構造および荷重条件下において実験的に明らかにされているものの<sup>1)</sup>、ピーニング段階における死荷重の影響やその後の繰返し荷重による残留応力緩和挙動が疲労寿命に与える影響については十分解明されていない。本研究は上記課題の克服のために鋼板上へのピーニング処理に関する基礎的な実験を行うとともに数値シミュレーションによって応力や表面形状および材料硬化の変化、さらに疲労荷重による残留応力緩和挙動について検討を行った。

2. ピーニング実験の概要と結果

ピーニングによる表面形状および残留応力の変化を調べるためにタガネを装着したエアツールを用いて鋼板の中央 (point A) に約 1 秒間施工する実験を行った。鋼板は SM490Y 材を用い厚さ 12mm 板幅 90mm 長さ 200mm のものを長手方向の中間の点で Fig.1 のように固定し片持ち梁とした。過去の実験から推定されるエアツールの打撃力は 9.5kN 以上、打撃回数は 90Hz 程度である。表面の残留応力は X 線残留応力測定装置 ( $\mu$ -X360, PULSTEC) で測定した。point A から X 軸 (長手) 方向に沿った表面の X 軸方向残留応力 (以下  $\sigma_x$  とする) 分布、表面およびタガネの形状を Fig.2 に示す。 $\sigma_x$  の分布は W 字型となり、 $\sigma_x$  の圧縮方向ピークの大きさは -270MPa 程であった。また point A で約 -0.12mm 変位した。

3. 材料構成モデルと数値解析

3.1 FE モデルと解析条件

先の実験を模擬した FEM 解析を行った。なお、Fig.3 に示すように力学的ラチェッティング現象を表現可能な材料モデル<sup>2)</sup>を用いた。Fig.4 に示す平板 (plate) とタガネ (chisel: 剛体) から構成されるモデル (板幅方向 1/2 対称) とし、chisel の形状は計測結果を参考に  $r=25\text{mm}$  の球面を底面とする形状とした。ピーニングによる荷重は plate への打撃力を 9.5kN として point C に  $M=-237.5\text{kN}\cdot\text{mm}$  の曲げモーメントを 15 回与えた。

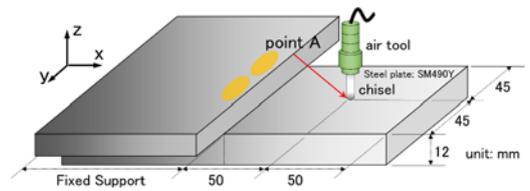


Fig. 1 実験の概要図

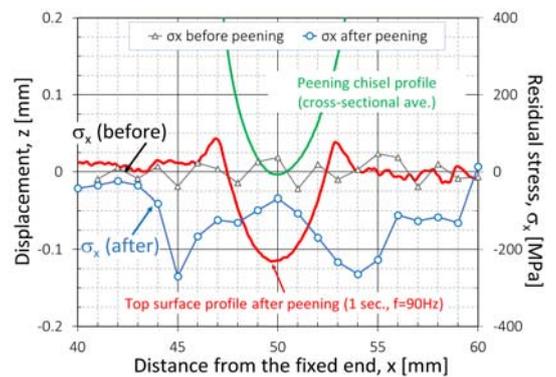


Fig. 2 表面形状と残留応力分布

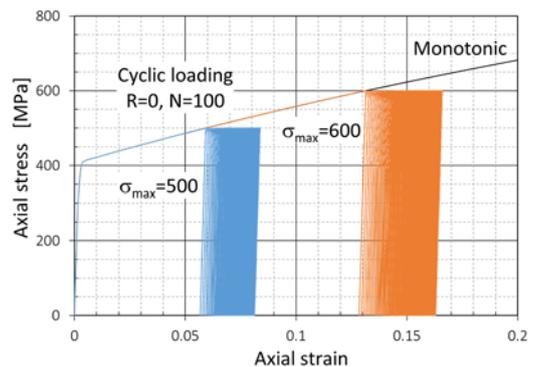


Fig.3 材料構成モデル

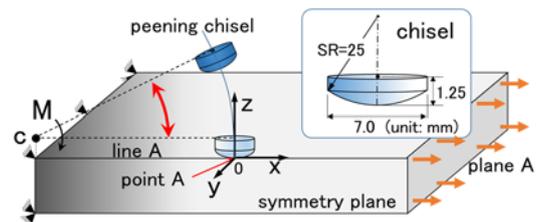


Fig.4 解析の概要および境界条件

Seiichiro TSUTSUMI, Kazushi UEDA, Fincato Riccardo, Toshiyuki ISHIKAWA, Risa MATSUMOTO

tsutsumi@jwri.osaka-u.ac.jp

Table.1 荷重ケース

		Fatigue load, F (MPa), (R= $\sigma_{min}/\sigma_{max}$ ), N=100			
		0	180	240	300
Dead load, D(MPa)	50	DT50-P15-F0	DT50-P15-F180 (0.217)	DT50-P15-F240 (0.172)	DT50-P15-F300 (0.143)
	0	D0-P15-F0	D0-P15-F180 (0)	D0-P15-F240 (0)	D0-P15-F300 (0)

また、死荷重の有無とその後の疲労荷重による影響調査のため、Table.1 に示す各荷重ケースを含む全 14 ケースについて解析を行った。それぞれの荷重は Fig.4 の plane A に繰返し 100 回与えた。なお、本解析では加速度による動的影響や plate-chisel 間の摩擦による影響は考慮していない。

### 3.2 ピーニングによる表面残留応力分布

死荷重無し・ピーニング後の(D0-P15-F0)解析結果を Fig.5 に示す。 $\sigma_x$  は W 字型に分布し圧縮方向に最大で 280MPa 程、平板中央付近で 150MPa 程となった。累積塑性ひずみは M 字型の分布を呈し、ピーニング痕端部において約 4%であった。これより、表面においてはこの領域で材料硬化が起こったことがわかる。

### 3.3 死荷重・疲労荷重による表面残留応力の変化

死荷重が 50MPa の解析結果を Fig.6 および 7 に示す。Fig.6 は疲労荷重載荷前に $\sigma_x$ が最大であった節点応力のその後の時間変化、Fig.7 は横軸に最大荷重(疲労荷重の最大値と死荷重の合計)、縦軸に疲労荷重載荷後の $\sigma_x$ を載荷前の値で正規化したものを示したグラフである。Fig.7 には死荷重を 100,-50,-100MPa 作用させた計算結果も加えている。これより、最大荷重 200MPa 程から疲労荷重による圧縮残留応力の緩和が始まり、250MPa 程で約 50%、300MPa 以上では圧縮残留応力が消失するケースが存在することがわかる。

## 4. 結言

本研究ではピーニング処理実験を行うとともに同条件を模擬した数値シミュレーションにより応力状態や表面形状の変化についての調査を行った。その結果、1.ピーニングによる表面形状、残留応力分布および材料硬化の分布の変化を数値解析的に再現した。2.今回の条件では最大荷重 200MPa 程から $\sigma_x$ の緩和が始まることを示した。

今後、死荷重条件下のピーニング効果や材料硬化と残留応力緩和挙動が疲労寿命に対してどのような影響を与えるのかについてさらに研究を進める必要がある。

### 参考文献

- 1) 石川敏之, 松本理佐, 堤成一郎, 河野広隆: ピーニングによる U リブと鋼床版デッキプレートの溶接ルート部の疲労強度向上効果, 溶接構造シンポジウム 2014 講演論文集, pp.185-188, 2014-12
- 2) K. Hashiguchi, F Pfeiffer, P Wriggers (Eds.): Elastoplasticity theory. Lecture notes in applied and computational mechanics, Springer: Berlin 2009; 42.

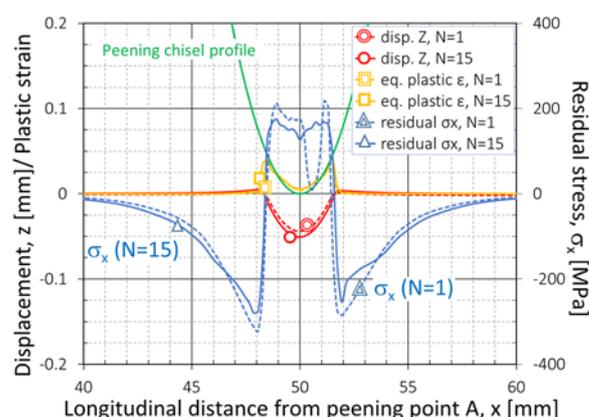


fig.5 ピーニング周辺における解析結果

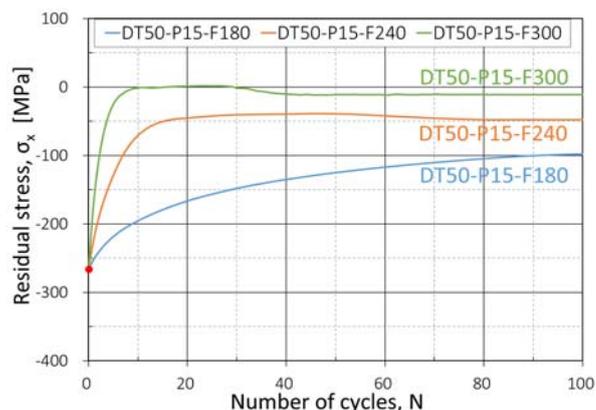


fig.6 残留応力の時系列変化

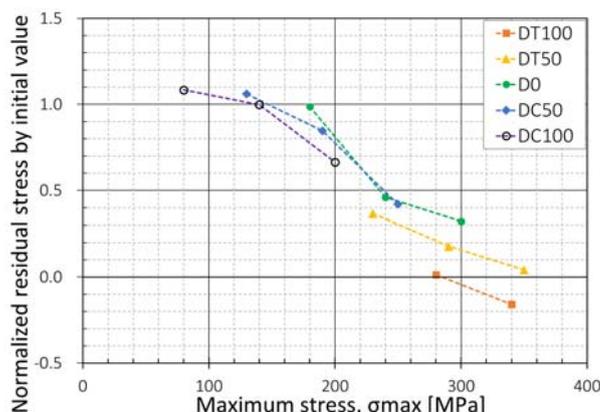


fig.7 残留応力の残存率分布