

# PS-24 溶接継手へのニードルピーニング施工による 打痕深さの違いが圧縮残留応力に及ぼす影響

構造安全評価系 \* 笛木 隆太郎

## 1. はじめに

ニードルピーニング (NP) は、鋼製のニードルピンを溶接止端部に打撃することで、溶接部の疲労強度を向上させる手法である。NP 施工による疲労強度向上因子は、圧縮残留応力の導入のほか、溶接止端部の形状改善による応力集中の緩和、組織の微細化、硬さの増加が挙げられるが、著者らの過去の研究により、ピーニングによる溶接部の疲労強度向上には圧縮残留応力の導入が寄与するところが大きいことがわかっている<sup>1,2)</sup>。したがって、NP の施工に際しては、施工箇所全体に十分な圧縮残留応力が導入されるように施工することが必要である。NP の施工は、ツール (ピーニングヘッド) を手で動かし、溶接止端部の止端線が完全に消失し、ピンの形状が転写されたことが確認できるまでピンの打撃を繰り返すことにより行う。そのため、NP により形成される打痕の形状、特に、打痕深さにばらつきが生じることが想定されるが、打痕深さの違いが NP により導入される圧縮残留応力に及ぼす影響について、定量的に検討した研究は見当たらない。本研究では、打痕深さと圧縮残留応力の関係を実験により調査したので報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材

供試材は溶接構造用圧延鋼 SM490A である。SM490A の化学成分および機械的性質を表 1 に示す。

表 1 SM490A の化学成分 (質量%) および機械的性質

C	Si	Mn	P	S	Nb	V
0.11	0.24	1.35	0.015	0.005	0.013	0.003
降伏応力 [MPa]		引張強さ [MPa]		伸び [%]		
386		520		26		

### 2.2 溶接継手の製作方法

板厚 19 mm の供試材に対して X 型開先を加工し、4 層 4 パスのサブマージアーク溶接を施工して、図 1 に示す形状・寸法の突合せ溶接継手を製作した。ただし、溶接継手裏面の余盛は除去し、研磨仕上げとしている。

### 2.3 ピーニング方法

図 1 に示した突合せ溶接継手の溶接止端部 2 箇所 (左側および右側) に対し、東洋精鋼株製の可搬型エアースキッドピーニング装置を使用して NP を施工した。NP 条件は表 2 に

示す 2 種類である。条件 1 は、NP のエアースキッド圧力を装置で制御可能な下限値に設定し、打撃力を小さく抑えるとともに、パス数 (施工回数) を溶接止端部の止端線が完全に消失する最低限の回数にすることで、打痕深さが極力小さくなるようにした施工条件である。一方、条件 2 は、NP のエアースキッド圧力を装置で制御可能な上限値に設定して、打撃力を大きくし、パス数も実用上考えられる範囲で増やすことで打痕深さが極力大きくなるようにした施工条件である。NP の施工は、図 1 の溶接継手 1 枚につき、1 種類の NP 施工条件とし、左右両側の溶接止端部に同じ条件で施工した。

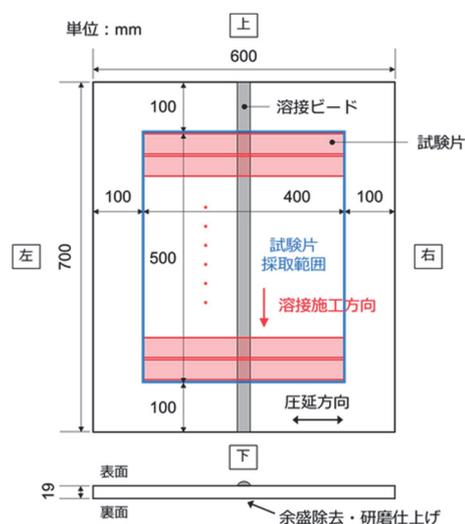


図 1 溶接継手の形状および試験片採取範囲

表 2 NP 条件

No.	ピン先端径 [mm]	エアースキッド圧力 [MPa]	平均施工速度 [cm/min]	パス数
1	1.5	0.3	50	2
2	1.5	0.5	50	3

### 2.4 試験片

溶接ままおよび NP 施工した溶接継手について、図 1 の試験片採取範囲より、短冊状に試験片を切り出した。試験片の形状および寸法を図 2 に示す。

### 2.5 NP 施工により生じた打痕深さの測定方法

溶接ビードを含む試験片長手方向に 40 mm の範囲の変位をレーザー変位計により計測した。この計測を試験片短軸方向

に 1 mm ずつずらしながら行い、1 つの試験片につき、39 個の形状プロファイルを取得した。打痕の最深点と母材平滑部より評価した回帰直線の距離から打痕の深さを評価した。

## 2.6 残留応力測定方法

X 線回折応力測定装置を使用し、 $\cos \alpha$  法により打痕底部の表面残留応力を測定した。コリメータは  $\phi 0.5$  mm (X 線照射範囲： $\phi 1.2$  mm) のものを使用し、図 2 のように溶接止端部の両側を 7 点ずつ測定した。

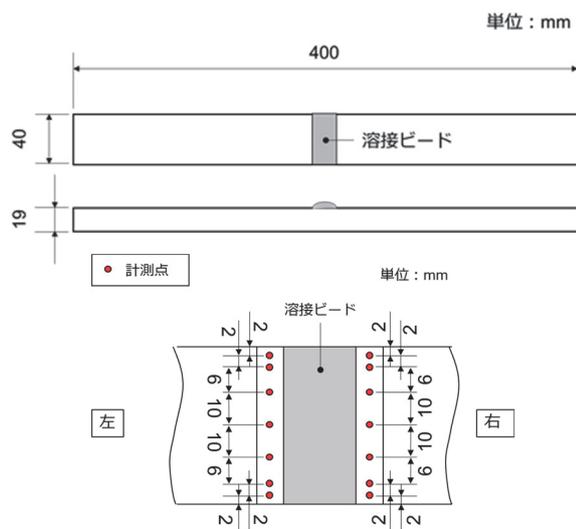


図 2 試験片形状・残留応力計測点

## 3. 実験結果・考察

### 3.1 打痕深さ

NP 条件ごとにすべての打痕深さのデータより平均値および標準偏差を求めた結果を表 3 に示す。表 3 より、NP 条件 2 では、NP 条件 1 に比べて、打痕深さが約 1.5 倍、ばらつきが約 1.7 倍大きいことがわかる。NP 条件 2 の方がばらつきが大きいのは、エア圧力が高い分、施工者の手に伝わる反動が強く、施工の安定性が悪くなるためであると考えられる。

表 3 NP 条件ごとの打痕深さ平均・標準偏差

NP 条件	打痕深さ平均値 [mm]	標準偏差 [mm]
1	0.057	0.018
2	0.084	0.030

### 3.2 打痕深さと残留応力の関係

打痕深さと残留応力の関係を NP 条件ごとにプロットしたグラフを図 3 に示す。ただし、各プロットの打痕深さは、残留応力の計測位置および隣接する計測位置  $\pm 1$  mm の 3 箇所の打痕深さを平均した値である。

図 3 より、NP 条件 1 のデータ群よりも NP 条件 2 のデータ群の方が平均的に打痕の深さも大きく、導入される圧縮残留応力も大きいことがわかる。図 3 のプロット全体で見ると、同一の打痕深さにおける残留応力のばらつきは大きいもの

の、打痕の深さが大きくなるほど、大きな圧縮残留応力が導入される傾向にあるといえる (相関係数： $-0.28$ )。

一般に、圧縮残留応力が大きいほど、疲労強度は向上することから、NP 条件 1 よりも NP 条件 2 の方がより望ましい施工条件であると考えられる。

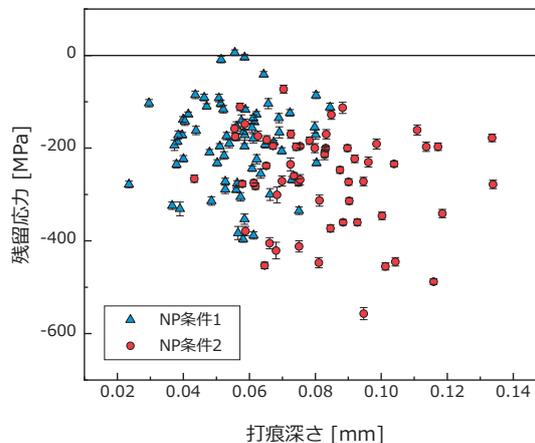


図 3 打痕深さと残留応力の関係

## 4. 結言

本研究で得られた知見を以下に述べる。

- (1) エア圧力および重ね打ち回数を大きくするほど、NP 施工による打痕の深さは大きくなる。ただし、打痕深さのばらつきも大きくなる。これは、エア圧力が高い分、施工者の手に伝わる反動が強く、施工の安定性が悪くなるためであると考えられる。
- (2) 打痕の深さが大きいほど、溶接止端部に導入される圧縮残留応力は大きくなる傾向がある。
- (3) 圧縮残留応力が大きいほど、疲労強度は向上することから、疲労強度向上の観点では、エア圧力および重ね打ち回数を大きくした施工条件の方がより望ましい施工条件であると考えられる。

## 謝辞

本研究は、一般財団法人日本ボイラ協会 2020 年度ボイラー・圧力容器等研究助成を受けて実施しました。また、海上技術安全研究所 安藤孝弘氏、津村秀一氏にご協力いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 笛木 隆太郎, 安部 央矩, 高橋 宏治, 安藤 柱, 北條 恵司, 半田 充. 溶接止端部にき裂を有するステンレス鋼のピーニングによる疲労限度向上とき裂の無害化. 圧力技術. 2015, Vol. 53, No. 3, p. 140-148.
- 2) Fueki Ryutaro, Takahashi Koji. Improving the fatigue limit and rendering a defect harmless by laser peening for a high strength steel welded joint. Optics & Laser Technology. 2021, Vol. 134, p. 106605.