ピンの振動エネルギーに基づくピーニング処理の品質管理の試み

名古屋大学 学生会員 〇加納俊 正会員 判治剛 フェロー会員 舘石和雄 正会員 清水優 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 小野秀一 正会員 井上一磨

1. 研究の目的 鋼部材に対するピーニング処理¹⁾を汎用的な技術に押 し上げるためには、明確な品質管理方法を確立することが不可欠である. 本研究では、ピーニング機器が有する振動エネルギーに着目し、鋼材に加 えられたエネルギーから処理部近傍に導入される圧縮残留応力量を推定 する手法について検討した.

2. 試験方法および計測項目本研究ではエアー式ニードルピーニング 機器の一種である HiFIT²⁾ (DYNATEC 製,図-1)を用いた.機器の動作圧 力は 0.7N/mm²程度であり,ピン先端の径は 3mm,ピンの振動数は 180 ~ 300Hz である.本機器では処理時の強度を変更可能であり,機器背面のね じが 0°のときに最低の強度を示し、960°のときに最も強度が高くなる.図 -2,図-3 に示す鋼板と面外ガセット溶接継手を対象として施工試験を行っ た.まず,鋼板に対して後述する複数の条件で施工試験を行い,処理条件 と導入される圧縮残留応力の関係を求めた.次に,求めた処理条件に基づ き溶接継手に処理を施し,導入残留応力量を確認した.鋼板は SBHS500 と SBHS700 の 2 種類であり,降伏応力 $\sigma_{\rm Y}$ はそれぞれ 570,823N/mm²であ る.溶接継手の鋼種は SBHS500 ($\sigma_{\rm Y}$ = 587N/mm²) である.処理中は板四 隅を万力で固定した.

施工試験では、ピンの振動,処理線直交方向の残留応力,処理形状,処 理長,処理時間の各計測を行った.ピンの振動はハイスピードカメラ

(MEMRECAM Q1m, nac Image Technology 製) により計測した. ピンの 動きをサンプリング数 4000 Hz で約 2.8 秒間記録し,得られた変位一時間 関係からピンの速度を算出した. 空打ち時のピンの速度 v_f と,処理中のピ ンの速度 v_p をそれぞれ求めた. 残留応力は X 線回折法により計測した. 処理前後の残留応力を各計測点につき 3 回ずつ計測し,処理により導入さ れた残留応力を求めた. なお処理前の鋼板には,JIS Z 3700 に基づく残留 応力焼鈍を施した. 処理形状計測はレプリカ法により行った. サンプル数 は1つの処理線につき約6個であり,処理幅 B と処理深さ d を記録した.

3. 鋼板を対象とした施工試験 鋼種(SBHS500, SBHS700),処理強度(0°~720°),パス数(1~9パス),処理長(10mm, 40mm)を変化させ, 複数の処理条件で試験を行った.ここで,パス数は所定の処理長を処理した回数を表す.なお,すべての処理は同一人物が実施した.

ピンの振動計測により得られた速度波形の例を図-4,図-5に示す.図より,空打ち時には、処理強度を高くするほど、処理速度が大きくなる傾向がみられる.また、処理中の速度 v_p は空打ち時の速度 v_f と比較して非常に小さいことがわかる.ここで、空打ち時と処理時のピンの振動エネルギーの差分を空打ち時のそれで除した値を処理効率 η と定義すると、すべてのケースで η は0.95以上であった.つまり、機器が持つエネルギーがほ





キーワード HiFIT, ピーニング処理, 圧縮残留応力, 品質管理, 振動エネルギー

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL: 052-789-4620

とんど損失することなく鋼材に与えられたと理解できる.

機器から鋼板に導入された振動エネルギー $E_{95\%}$ の算出方法を式(1)に示 す.ここで,処理効率 η は0.95で一定とする.*m*はピンの質量(=0.0196kg), v_f は空打ち時の1周期ごとの最大速度の平均値(m/s)である.*f*はピンの振 動数(Hz), *t* は処理時間(s), *d* は 1 パスあたりの処理長(mm)であり, *ft/d* は単位処理長あたりの打撃回数を表す.

$$E_{95\%} = \frac{1}{2} \eta m v_f^2 ft / d$$
 (1)

鋼材に加えられたエネルギーE95%と処理端部から 2mm 位置の残留応力 の関係を図-6 に示す. 縦軸は残留応力を鋼材の降伏点で無次元化してい る. 図中には両者の関係から求めた回帰曲線も載せている. エネルギー E95%が大きくなると導入残留応力も大きくなるが,ある値で収束する傾向 がみられた. これは,繰返し打撃により鋼材の結晶組織が微細化し,形状 変化が生じにくくなったことで,残留応力の導入量が頭打ちになったため であると考えられる. 以上より,処理条件から導入される残留応力量を事 前に推定できる可能性が示された.

ピーニング処理の品質を出来形により管理する方法³も検討した.処理 部の断面積A(処理幅Bと処理深さdの積)と処理端部から2mm位置の 残留応力の関係を図-7に示す.図-6に比べてばらつきは大きいものの, 処理断面積の増加に伴い,導入残留応力量が増加する傾向がみられる.

4. 溶接継手への適用可能性 前章で求めたエネルギーによる品質管理 方法に基づき,導入エネルギーが 50J/mm 以上となるように溶接継手に処 理を施した.具体的には,処理強度を 180°とし,3 パスで処理を施した. 1 パスあたりの処理長は約 138mm,処理時間は約 300 秒であり,式(1)よ り *E*95%は 56J/mm となる.さらに,図-6 中の回帰曲線より,処理端部から 2mm 位置に導入される残留応力は-323N/mm²と推定できる.

処理前後の長手方向の残留応力分布を図-8 に示す. 横軸は止端位置からの距離である.処理端部から 2mm 位置の実測値と推定値に大差はなく,また,処理部に大きな圧縮残留応力を導入できていることがわかる.

処理を施した面外ガセット継手を用いて,応力比 R=0 の条件で振動式 疲労試験機による疲労試験を行った.その結果を図-9 に示す.横軸は疲 労き裂が主板に 10mm 進展した時点の繰返し数であり,縦軸はその時点 までの等価応力範囲である.図中には他の機器により処理を施した継手の 結果¹⁾も載せている.HiFIT により,他の機器とほぼ同程度の向上効果が 得られていることがわかる.また,提案した条件により処理された継手は, 高い疲労強度を有し,提案手法の妥当性が示された.

5. まとめ 本研究では、ピーニング機器が有する振動エネルギーに着 目し、処理条件から圧縮残留応力の導入量を事前に推定する方法を提案し た.また、処理部の出来形による品質管理の有効性も示した.圧縮残留応 力の導入機構が同じ他の機器でもこの方法により品質管理ができる可能 性があり、その検証は今後の課題である.







図-6 導入エネルギーと残留応力の関係

