

プログラム名：ユビキタス・パワーレーザーによる安心・安全・長寿社会の実現

PM名：佐野 雄二

プロジェクト名：超小型パワーレーザーの応用

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 28 年度

研究開発課題名：

携帯型レーザーピーニングによる大型鋼構造物の疲労き裂防止手法の実現

研究開発機関名：

近畿大学 工学部 建築学科

研究開発責任者：

崎野 良比呂

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

大型鋼構造物において重要性が広く認識されている疲労問題に対し、レーザーピーニングによる疲労寿命向上効果が非常に大きいことが明らかになってきている。一方、レーザーピーニングは現場で使用できると、新設のみならず既設構造物の補強にも使える。しかし、これまで携帯型レーザーピーニングシステムに使えるレーザー発信器は存在しなかった。本研究では、現場で容易にかつ広範囲に使用可能な、携帯型レーザーピーニングシステムを開発する。

本年度は本公募への準備段階として、(1)特許調査、(2)体制の構築、(3)システム概念の構築、(4)レーザーピーニングの優位性の検証を行った。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

(1) 特許調査

Key Words “レーザー*ピーニング*疲労”で検索した結果 247 件が該当した。その内、関連性のあると思われる特許は 18 件で、これらを調べた（2017 年 10 月 26 日）ところ、今回提案する開発が抵触する可能性はないと判断した。

(2) 体制の構築

全体計画の策定・推進、レーザーピーニング応用技術の開発を近畿大学工学部建築学科が、橋梁への適用技術の開発を JFE スチールスチール研究所が、レーザーピーニング装置の開発を JFE テクノリサーチ株式会社が担当することとして、開発体制を構築した。

(3) システム概念の構築

橋梁用レーザーピーニング装置の概念図を図 1 に示す。マイクロチップレーザーをロボットアームに設置し、構造物に照射する。レーザーピーニングで必要となる水膜の形成方法には、レーザーと一緒に吹き付けるノズル式と、レーザーと別に対象位置に給水ユニットから水を流す給水式が考えられるが、現場への適用性が高いと考えられる給水式で検討を進めることとなった。また、施工保証方法（レーザーピーニング施工がされているか、圧縮残留応力が生成されているかの保証方法）には X 線回折による方法を検討していくこととした。

(4) レーザーピーニングの優位性の検討

低出力レーザーピーニングの効果については、ナノ秒レーザーでの実験結果ではあるが、レーザーピーニングを施していない試験体との比較で、明らかになりつつある。今回開発されたマイクロチップレーザーのサブナノ秒レーザーでもその効果は変わらないと考えられる。

しかし、他の手法との直接の比較を行っていないため、一部で使われている代表的な手

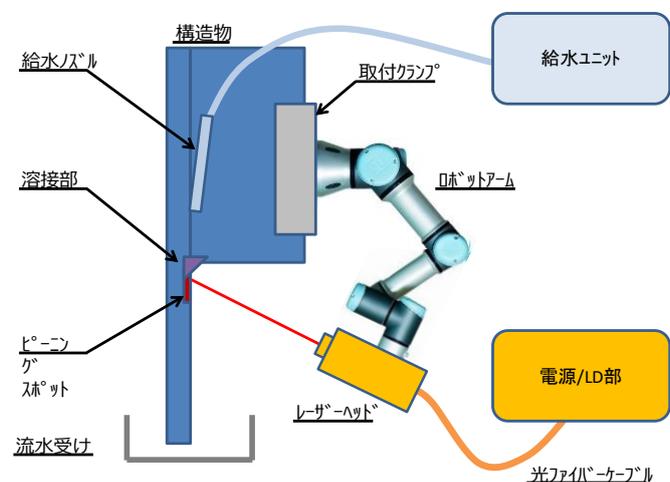


図1 橋梁用レーザーピーニング装置の概念図

法としてショットピーニングを取り上げ、実際にショットピーニングを施した試験体を製作し、低出力レーザーピーニングでの実験と同様の X 線残留応力測定および疲労試験を行い、レーザーピーニングの性能面での優位性、施工面での優位性を明らかにした。

2-2 成果

(1), (3)については進捗状況で述べたとおりである。

(2)について、体制を整える段階で市場規模についての検討を行った。

日本国内には 2016 年現在、約 16 万橋の橋梁（15m 以上）が供用されており、その内、約 6 万橋が鋼製の橋（鋼橋）である。鋼製の橋は、走行車両数の増加や車両重量の増加の影響を受け、疲労損傷が発生し、補修による通行止めや補修費用の増加が深刻な問題となっている。疲労強度の向上が急務となっている。そこで、今回開発を進める簡易レーザーピーニングを行えば、大幅に疲労強度が向上し、インフラ構造物の安全性を保つことが出来る。例えば、年間 2000 橋をピーニングすることで、30 年間で現在の鋼橋 6 万橋すべての疲労強度を上げることが出来る。ピーニングの施工費用を 1 橋あたり 20 万円とすると、4 億円/年の市場規模があると考えられる。

(4) レーザーピーニングの優位性の検討

本検討では、実際に使用される部材に近い大型試験体にショットピーニングを施し残留応力測定と疲労試験に供した。試験体には高強度鋼 HT780 を使用した。高強度鋼の方がレーザーピーニングのメリットを見いだせると考えたためである。試験体は 9×150mm ベースプレートに 6mm のリブを 780 N/mm² 級鋼用ソリッドワイヤーを用いて脚長 6mm(実測 8mm)で回し溶接したものである。試験体の形状・寸法を図 2 に示す。この試験体のリブ側全面にショットピーニングを施した。ショットの粒種はアランダム、粒径は約 250 μm、吹付け圧力は 6MPa、吹き付け時間は 90s である。ヒアリングしたところ、この条件は工場でする条件であり現場ですることは難しいとのことであった。

まずリブ回し溶接部付近の残留応力の測定を行った。リブ中心の余盛りから 1 mm の点を C 点とし、C 点からリブ直角方向に 10mm 間隔で A, B, D, E 点を測定した。測定には、X 線回折法を用い、疲労寿命に影響を及ぼすと考えられるリブ方向の残留応力成分を測定した。ショットピーニング試験体の測定結果を図 3 に示す。C 点付近は -300MPa 程度の圧縮残留応力であり、既往の研究でのレーザーピーニングとほぼ同じであったため、両者の表面残留応力の大きさに違いがないことが分かる。

疲労試験には 100kN 一軸疲労試験機を用い、応力範囲は $\Delta \sigma = 150, 200, 300\text{MPa}$ の 3 段階、応力比 $R=0.1$ 、試験の打ち切り限界は 10^7 回とした。図 4 に実際に試験機にセットして実験を行っている模様を示す。試験体をリブのある側が引張となるように 4 点曲げ疲労試験に供した。

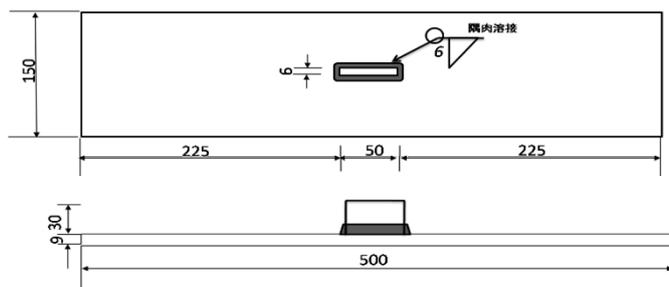


図 2 試験体の形状・寸法

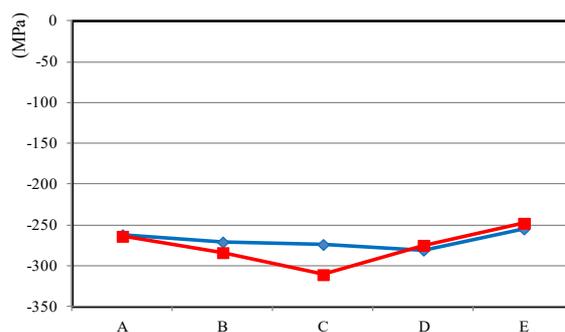


図 3 残留応力測定結果（ショットピーニン



図4 4点曲げ疲労試験

き裂発生位置を図5に示す。全ての試験体は、C点付近の止端部からき裂が発生し、端部方向に進展した。図6に疲労き裂発生寿命を比較したものを示す。図中の●がショットピーニング試験体の試験結果を、▲が低出力タイプのレーザーピーニング試験体の試験結果を、■が何も処理していない溶接ままの試験体の試験結果を表している。ショットは、溶接ままに比べて、6~10倍疲労き裂発生寿命が延びている。これより、ショットピーニングによる疲労き裂発生寿命の向上効果は大きいと言える。ショットとレーザーを比較すると、疲労き裂発生寿命、破断寿命共にショットの方が寿命が延びている様に見える。しかし、レーザーの多くは図7に示すように、レーザーピーニングの施していないリブ側の止端からき裂が発生しており、レーザーピーニングを施した止端部からき裂は発生していない。よって、レーザーピーニング部の寿命を評価できていない。今回、ショットピーニングによってベースプレート側止端からの疲労き裂を止めることができなかったため、レーザーピーニングの方が効果大きいと考えることもできる。しかし、定量的な検討は今後の課題である。また、本検討では、大型試験体での比較であるので多くの実験ができなかったが、小型突合せ溶接試験体を用いた既往の研究では、ショットピーニングの疲労寿命がレーザーピーニングに比べばらつくことが報告されており、これに関しても検討が必要である。

これらの成果は、“大型試験体によるショットピーニングの疲労寿命向上効果の検討”として、平成28年度建築学会中国支部研究発表会で発表する予定である（概要論文提出済み）。

2-3 新たな課題など



図5 疲労き裂の発生位置(ショットピーニング)

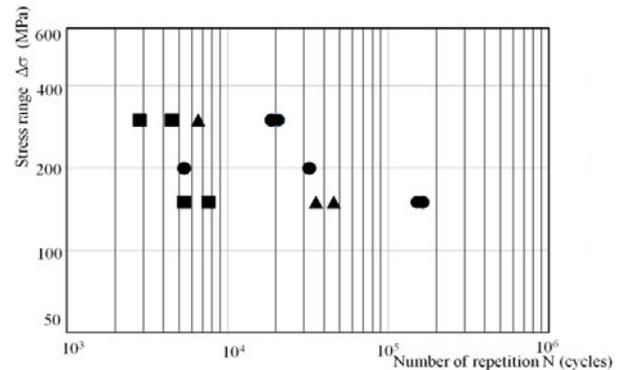


図6 疲労き裂発生寿命の比較

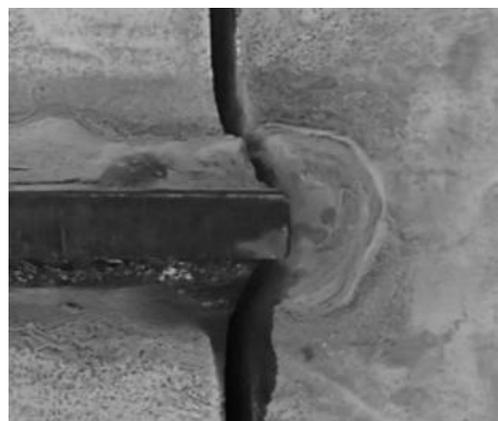


図7 疲労き裂発生位置(レーザーピーニング)

3. アウトリーチ活動報告

ありません。