

リニューアル工事におけるレーザー照射を用いた鉄筋ケレンに関する開発

Development of Steel Bar Scraping Using Irradiation Laser in Renewal Work

金子 泰明^{*1}
Yasuaki Kaneko

平間 昭信^{*1}
Akinobu Hirama

川端 康夫^{*2}
Yasuo Kawabata

永井 香織^{*3}
Kaori Nagai

今関 幹^{*3}
Motoki Imazeki

河井 勇樹^{*4}
Yuuki Kawai

【要旨】

塩害などで損傷を受けたコンクリート構造物の剥離をはつり落とし、除去した部分を修復する断面修復工法の鉄筋ケレンでは、鉄筋に付着したモルタルおよび錆を除去する必要がある。一般的にケレンでは、サンドブラスト、ジェットタガネやカップブラシなどが用いられているが、ジェットタガネおよびサンドブラストは使用する際の騒音や粉塵などが問題となる場合がある。また、作業には多くの時間を要し、狭隘な空間での作業であることから、作業従事者には苦渋作業となっている。

そこで、筆者らは、騒音および粉塵を低減するケレン方法としてレーザー照射によるケレンに着目した。レーザー照射により鉄筋に付着したモルタルを除去できれば、断面修復を施工する際の作業環境が改善されると考えられる。本報告では、鉄筋に付着したモルタルの除去について、レーザーの照射条件などを要因とした基礎的な検討を実施した後、実構造物を模擬したモックアップ試験体を用いて、カップブラシを併用した場合の効率的なレーザー照射条件について検討した内容について報告する。

【キーワード】 リニューアル, 断面修復, 鉄筋ケレン, 生産性向上, レーザケレン

1. はじめに

塩害などで損傷を受けたコンクリート構造物の剥離をはつり落とし、除去した部分を修復する断面修復工法では、鉄筋に付着したモルタルおよび錆を完全に除去した後に防錆剤を塗布する必要がある。鉄道高架橋では、固定足場を設置し、周辺を防音シートで覆った状態で施工するため、ケレンにはジェットタガネ、カップブラシやサンドブラストなどが用いられる。一方で、張り出し部では高所作業車を用いることが多く、施工箇所を防音シートで覆うことが困難であるため、ケレンにはジェットタガネやカップブラシが用いられる。この場合、特にジェットタガネを用いる場合には施工する際の騒音が問題となり、住宅や店舗が密集する地域では十分な配慮が必要となる。

そこで、筆者らは、騒音の低減および生産性向上を目的としてレーザー照射によるケレン（以下、レーザーケレンと称する）に着目した。レーザーケレンは、橋梁などの鋼構造物の汚れや錆、古い塗膜を効果的に除去できることから再塗装時の素地調整方法として活用されている^{例えば1)}。また、レーザー照射により照射箇所に衝撃が生じることが報告されており²⁾、レーザー照射によって瞬間的に高温環境となることでセメント水和物の強度が低下し、レーザーの衝撃によってモルタルが除去されるが、断面修復に適用した実績はない。コンクリートのはつりが完了した段

階では、鉄筋に付着したモルタルは完全に除去されていないため、ケレンによって鉄筋に付着したモルタルおよび錆を除去する必要がある。

本報告では、鉄筋に付着した0.2~2.0mm厚程度のモルタルの除去について、レーザーの照射条件などを要因とした基礎的な検討を実施したあと、実構造物を模擬したモックアップ試験体を用いて、カップブラシを併用した場合の効率的なレーザー照射条件について検討した内容について報告する。

2. 照射条件選定のための基礎試験

2.1 試験体概要

断面修復時にケレンする鉄筋を想定して、あらかじめ腐食させたD19の鉄筋に、モルタルを付着させた試験体を作製した。モルタルの配合はW/C=55%, S/C=2.0とし、細骨材はレーザー照射および後工程に与える影響を把握するため、珪砂および石灰砂の2種類を用いた。

鉄筋とモルタルの付着を確保するために、モルタルはリシン吹付けによって施工した。施工後に測定した結果、吹付け厚さは0.2~2.0mmであった。長さ200mmの鉄筋に対して、中心から軸方向に左右50mmの範囲にモルタルを吹き付けた。試験体は温度20°C、R.H.60%の環境で作製し、28日間の水中養生を実施した。

1.技術研究所 研究開発G 2.土木本部 インフラRN部G 3.日本大学生産工学部建築工学科 4.西日本旅客鉄道(株)

2.2 レーザ照射条件および測定項目

(1) レーザ照射条件

実験ではファイバーを増幅装置とした200Wのレーザーをパルスモードで使用した。

レーザー照射の模式図を図-1に、照射条件を表-1に示す。スポット径を80 μm 、周波数を30Hz、焦点距離を160mmとし、照射時間は300sとして、照射速度を変化させてケレン効果を確認した。照射速度が速いほど、レーザー照射の間隔は短くなる。レーザーは、モルタルが付着しているD19 \times 100mmの範囲に対して照射した。

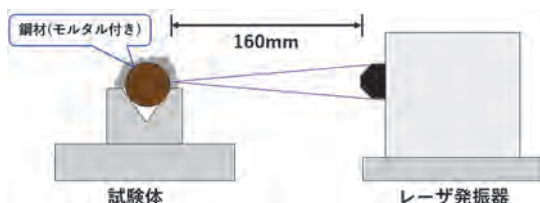


図-1 照射模式図

表-1 レーザ照射条件

スポット径 (μm)	周波数 (kHz)	照射速度 (m/s)	照射時間 (s)	焦点距離 (mm)
80	30	0.9	300	160
		1.2		

(2) 測定項目

レーザー照射後に60秒間ワイヤブラシを用いて磨き、その前後において、モルタルおよび錆の除去状況を目視観察した。また、照射後およびワイヤブラシ使用後の試験体の画像から、処理ソフトによって評価面積およびモルタルの除去面積を求め、除去率を算出した。

2.3 試験結果

試験体の状況を図-2、図-3に、除去率の一覧を図-4に示す。照射速度1.2m/sと比較して、0.9m/sの除去率が高く、珪砂と比較して石灰砂の除去率が高くなった。また、現場で使用されているワイヤブラシによる60秒のケレンでは、錆を完全に除去することはできなかった。

照射速度が速くなることで照射の密度が大きくなるため、モルタルに蓄えられる熱が大きくなるため、照射速度が速い条件で除去率が大きくなったと考えられる。

モルタルに対してレーザーを照射すると、 SiO_2 が溶解することで照射部分が非晶質になる⁴⁾(以下、ガラス化と称する)ことが報告されている。石灰砂と比較して、珪砂は SiO_2 の成分割合が多いため、ガラス化しやすい。石灰砂ではガラス化の割合が小さく、レーザーの衝撃によってモルタルが除去されたが、珪砂では除去されずにガラス化することで、レーザー照射後の除去率が小さくなったと考

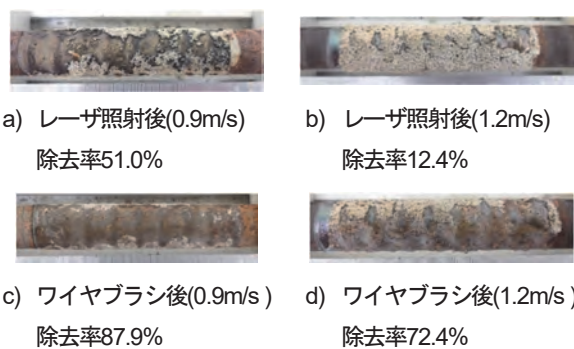


図-2 試験体状況 (珪砂)

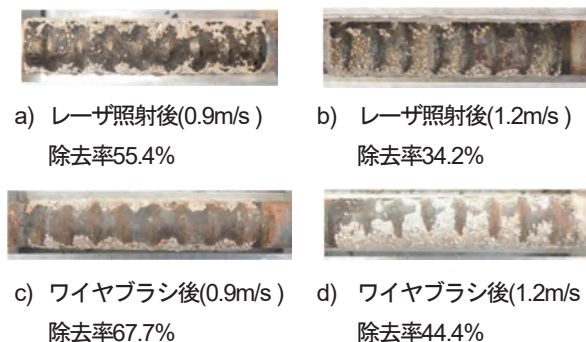


図-3 試験体状況 (石灰砂)

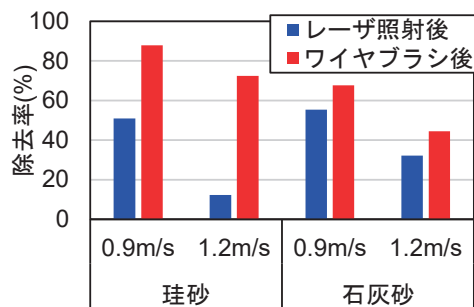


図-4 除去率の測定結果

えられる。ガラス化した部分は脆弱化するため、図-4に示すようにワイヤブラシ使用後の除去率は石灰砂よりも珪砂が大きくなったと考えられる。

以上の結果より、照射速度が速い条件で除去率が大きくなることが確認されたことから、モックアップ試験体を用いた実験では、更に照射速度が速い条件についても検討することとした。また、ワイヤブラシによるケレンでは錆を完全に除去することが難しいため、以降の実験ではワイヤブラシに替わってカップブラシを用いた。

3. モックアップ試験体を用いた実験

3.1 試験体概要

一般的な構造物を想定し、D16の鉄筋を130mm間隔で5本ずつ交差し、モルタルを付着させたモックアップ試験体に対してレーザーケレンを実施した。モックアップ試験

体および照射範囲を図-5に示す。付着させたモルタルは、ビニロン繊維以外をプレミックスとしたTDRモルタル³⁾であり、試験体の外寸は950×950mmである。

3.2 レーザ照射条件および測定項目

(1) レーザ照射条件

レーザー照射の模式図を図-6に、照射条件を表-2に示す。スポット径を80 μm 、周波数を30Hz、焦点距離を263mmとした。レーザー照射時には照射速度および照射時間を変更して、モルタルの除去率について検討した。実際の現場を想定し、焦点距離を維持しながら手持ちで照射した。

(2) 測定項目

レーザー照射後に、鉄筋に付着したモルタルおよび錆の除去に要したカップブラシの作業時間を計測した。なお、モルタルおよび錆の除去完了は目視で判断した。

また、照射後およびカップブラシ使用後の試験体の画像から、処理ソフトによって評価面積およびモルタルの除去面積を求め、除去率を算出した。



図-5 モックアップ試験体および照射範囲

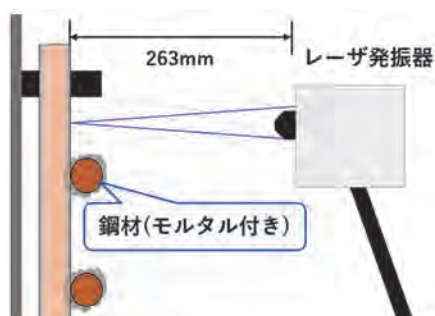


図-6 モックアップ試験体への照射模式図

表-2 レーザ照射条件

スポット径 (μm)	周波数 (kHz)	照射速度 (m/s)	照射時間 (s)	焦点距離 (mm)
80	30	0.3	60	263
		0.6	120	
		0.9	180	
		1.2	240	
		1.5	300	

3.3 試験結果

(1) 表面状態

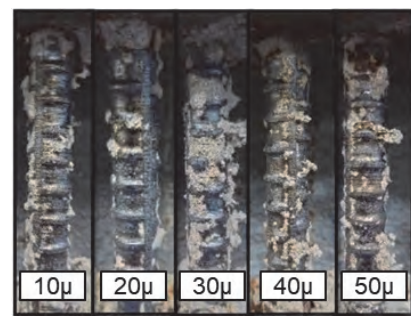
一例として、レーザーを60s照射した後およびカップブラシ施工後の試験体を図-7に示す。レーザー照射によって錆が除去され、鉄筋の素地が確認できた。また、付着したモルタルの厚さが1mm程度であった部分は、モルタルを概ね除去することができたが、モルタルが2.0mm以上の厚い部分ではレーザー照射後も残存した。レーザー照射後は、図-7b)に示す状態となるまでカップブラシによってケレン作業を実施した。レーザー照射後に残存したモルタルはカップブラシで容易に除去することができ、光沢のある仕上がりとなった。

(2) レーザ照射条件と除去率の関係

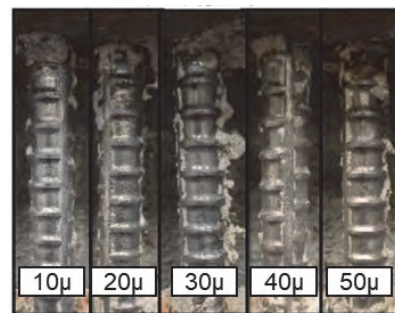
除去率の測定結果を図-8に示す。照射速度1.5m/sの条件では、照射時間の増加に伴って除去率が増加する傾向が確認できたが、そのほかの照射速度ではその傾向が確認できなかった。また、同じ照射時間内で、照射速度と除去率に明確な関係は確認されなかった。照射速度が速く、照射時間が長いほど、与える熱量が大きくなると考えられるが、本実験内では熱量と除去率の関係を明確に確認することができなかった。これはモックアップ試験体のモルタル厚さが不均一であるためと考えられる。

(3) レーザ照射条件とカップブラシ作業時間の関係

レーザー照射時間とカップブラシ作業時間の関係を図-9に示す。カップブラシの作業時間は照射時間の増加に伴って短縮できる傾向にあった。これは照射時間の増加に伴って与える熱量が増加し、モルタルが脆弱化したためと考えられるが、照射時間が180s以上の条件ではカッ



a) レーザ照射後



b) カップブラシ作業後

図-7 試験体状況 (照射時間 60s)

ブラシの作業時間は同程度となった。

レーザー照射時間とカップブラシによる作業時間の合計（以下、ケレン作業時間と称する）とレーザー照射時間の関係を図-10に示す。図-9より、レーザー照射時間の増加に伴いカップブラシ作業時間は減少する傾向であったが、合計したケレン作業時間が最も作業時間の短い条件は、レーザー照射時間が60s、120sの場合であった。

以上から、レーザー照射のみではケレンを完了することは難しいが、カップブラシを併用することにより、従来よりも容易に、かつ短時間でケレンを完了できる可能性がある。

5. まとめ

要素試験体およびモックアップ試験体を用いて、レーザー照射と手工具を併用した場合の作業時間について検討した結果、次の知見が得られた。

- 1) 母材モルタルに珪砂を使用した場合、石灰砂を使用した場合と比較してレーザー照射単体による除去率が小さくなった。
- 2) 母材モルタルがガラス化することで、後工程での物理的な除去が容易となった。
- 3) レーザー照射時間の増加に伴い、カップブラシ作業時間は短くなった。
- 4) 本実験の照射条件では、ケレン作業時間が最も短くなるレーザー照射時間は60s、120sであった。

今後は、断面修復を施工している現場にて試験施工を実施し、施工性や歩掛、粉塵・騒音の低減効果を確認していく予定である。

謝辞：本研究にあたり、(株)光響およびPCL(株)に多大なるご協力をいただきました。ここに期して感謝の意を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 藤田和久ほか：レーザークリーニングによる鋼構造物のメンテナンス, レーザー研究, 45巻, 7号, pp.418-422, 2017.
- 2) 山内良昭, 中野元博, 尾崎典雅, 田中和夫：レーザー衝撃によるCFRP積層材の超高速破壊, 材料, 第53巻, 3号, pp.254-259, 2004.

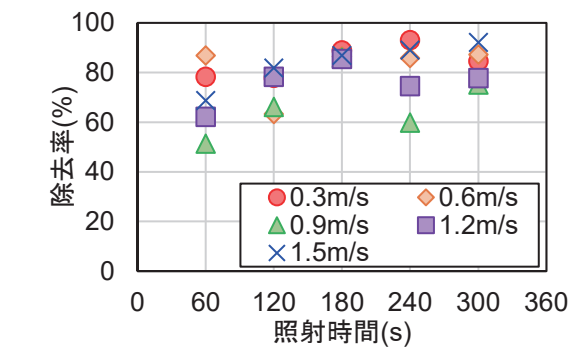


図-8 除去率と照射時間の関係

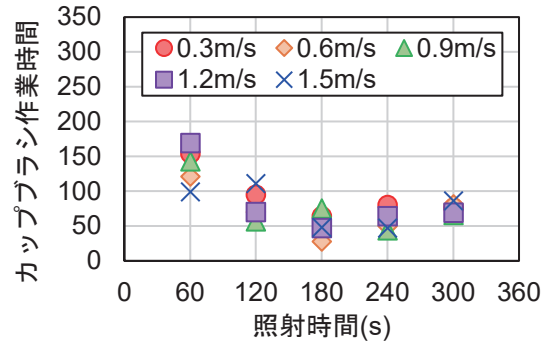


図-9 カップブラシ作業時間と照射時間の関係

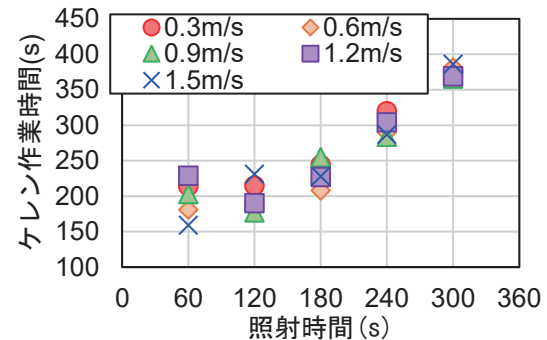


図-10 ケレン作業時間と照射時間の関係

Summary In rebar cleaning, which is a cross-sectional repair method for concrete structures damaged by salt and other factors, it is necessary to remove mortar and rust adhering to the rebar. Generally, sandblasting, jet blasting, and cup brushes are used in the process, but the noise and dust generated by jet blasting and sandblasting can be problematic. Therefore, the authors focused on laser irradiation as a method of cleaning to reduce noise and dust. If the mortar adhered to the rebar can be removed by laser irradiation, the working environment for cross-sectional restoration can be improved. In this report, we describe the details of our study on the removal of mortar adhered to steel bars. After conducting a basic study of laser irradiation conditions and other factors, efficient laser irradiation conditions were selected using a test specimen simulating an actual structure, and the use of a cup brush was used in combination with the laser.

Key Words : Renewal, section repair, rebar cleaning, productivity improvement, laser cleaning