

# レーザーを用いたコンクリートはつりに関する基礎的研究

日大生産工(院) ○末竹 泰土 日大生産工 永井 香織  
佐藤工業(株) 伴 享 佐藤工業(株) 市山 大輝  
佐藤工業(株) 大江 隆史

## 1. はじめに

既設コンクリートの劣化現象として凍害や塩害、荷重による疲労などが挙げられる。その対策として劣化部分のコンクリート除去および部材の接着を強固にするため表面を粗面にする作業が行われる<sup>1)</sup>。コンクリート構造物の補修・補強等の工事におけるはつり作業は、ウォータージェットやサンドブラスト等コンクリートに物理的な衝撃を与える方法が主流となっている<sup>2)</sup>。しかし、それらの工法には、騒音、振動、粉塵などの問題が挙げられている。

レーザーの特徴として、低騒音、低振動、微粉塵、無反動、遠隔操作等が挙げられ<sup>3)</sup>、レーザーを建築現場に適用することは作業、環境への負担軽減が期待されている<sup>4)</sup>。

本研究は、レーザーを用いた表層約 20mm のコンクリートはつり工法の開発を目的に検討を行っている。

本報告は、異なるレーザー照射条件 (モード、DFS、照射速度)によって照射したコンクリート表面にどのような影響があるのかを検証した結果について述べる。

## 2. 実験概要

### 2.1. 供試体

使用材料を表1、供試体の調合を表2に示す。供試体は無筋コンクリートとし、呼び強度は18、24、30N/mm<sup>2</sup>の3水準とした。350×350×50mmのコンクリート型枠を使用したものを、コンクリートカッターを使用して供試体を作成した。気温20℃、湿度60%の空間に3日間静置したものをを用いることとした。供試体寸法は50×50×50mmとした。

### 2.2. レーザー発振器

レーザー照射状況を写真1に、レーザー照射条件を表3に示す。本実験では、2kWQCW(疑似連続波)ファイバーレーザーを用いて照射を行っ

た。レーザー照射条件は、平均出力1kW、パルス波における周波数16.6Hz、パルス幅30mm、Duty比50%に設定した。変更した条件として、モードを連続波、パルス波の2水準、DFSを3水準、照射速度を3水準とした。

表1 使用材料

使用材料	記号	摘要
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm <sup>3</sup>
砕砂	S1	相模原市緑区、密度2.63g/cm <sup>3</sup>
混合砂	S2	山砂:千葉県君津産、密度:3.16g/cm <sup>3</sup>
		石灰砕砂:高知県吾川郡産、密度:2.66g/cm <sup>3</sup>
碎石	G	相模原市緑区、密度2.66g/cm <sup>3</sup>
混和剤	Ad	AE減水剤

表2 供試体の調合

呼び強度18N/mm<sup>2</sup>

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m <sup>2</sup> )					
			W	C	S1	S2	G	Ad
65	50	4.5	1174	270	552	368	918	2.70

呼び強度24N/mm<sup>2</sup>

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m <sup>2</sup> )					
			W	C	S1	S2	G	Ad
55	49.4	4.5	166	302	538	358	934	2.72

呼び強度30N/mm<sup>2</sup>

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m <sup>2</sup> )					
			W	C	S1	S2	G	Ad
49	47.7	4.5	1166	339	511	341	950	3.05

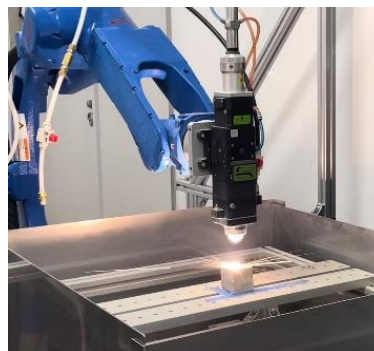


写真1 レーザー照射状況

Fundamental Study on Concrete Chipping Using Laser

Taito SUETAKE, Kaori NAGAI, Susumu BAN,  
Daiki ICHIYAMA, Takahumi OOE

レーザー発振器はレーザーヘッドがロボットアームに取り付けられたものとなっている。レーザーはヘッド先端より照射され、同軸上からレンズ保護を目的としたアシストガス(窒素ガス0.5MPa)を噴射した。また、ロボットアームの制御により照射速度、レーザーの焦点から供試体表面までの距離(以下、DFS)が調整でき、照射面積は30×30mmとした。

### 2.3. 評価項目

#### (1) 供試体観察

熱影響測定範囲を図1に示す。供試体観察は、目視観察及びデジタルマイクロスコープ(K社製 VHX-5000)による照射表面、断面の詳細観察を行った。また、ガラス化の有無、供試体のひび割れ等の観察を行った。本論文で示す熱影響範囲とは、ガラス化や爆裂する部分と供試体の熱による変色部分までとする。さらに熱影響範囲は同記マイクロスコープを用いて小数第2位まで計測した。

#### (2) 質量変化割合

質量の測定は計量器を使用し、レーザー照射前後の質量変化量を(1)式を用いて算出した。

$$\Delta m = \frac{m1-m2}{m1} \times 100 \dots \dots (1)$$

$\Delta m$ : 質量変化割合(%)  
 $m1$ : 照射前の質量(g)  
 $m2$ : 照射後の質量(g)

#### (3) エネルギー密度

(2)式を用いてエネルギー密度を算出し、考察を行った。

$$E = \frac{\bar{W} \times T}{r^2 \times \pi} \dots \dots (2)$$

$E$ : エネルギー密度(kJ/cm<sup>2</sup>)  
 $\bar{W}$ : 平均出力 (kW)  
 $T$ : 照射時間 (s)  
 $r$ : スポット半径 (cm)

## 3 結果及び考察

### 3.1 供試体観察

連続波、パルス波モード図を図2、熱影響範囲測定結果を図3、コンクリート除去モード図を図4、ガラス化状況を写真2、供試体表面を写真3に示す。連続波とパルス波は図2のように照

表3 レーザ照射条件

平均出力 (kW)	モード	周波数 (Hz)	パルス幅 (ms)	DFS (mm)	照射速度 (mm/s)
1	連続波	-	-	50	5
	パルス波	16.6	30	150	15

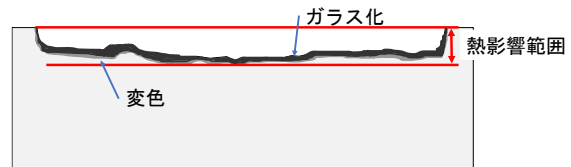


図1 熱影響測定範囲

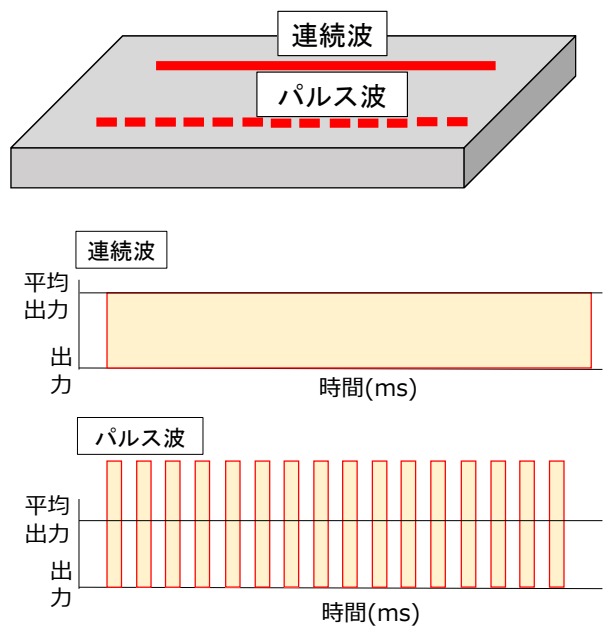


図2 連続波、パルス波モード図

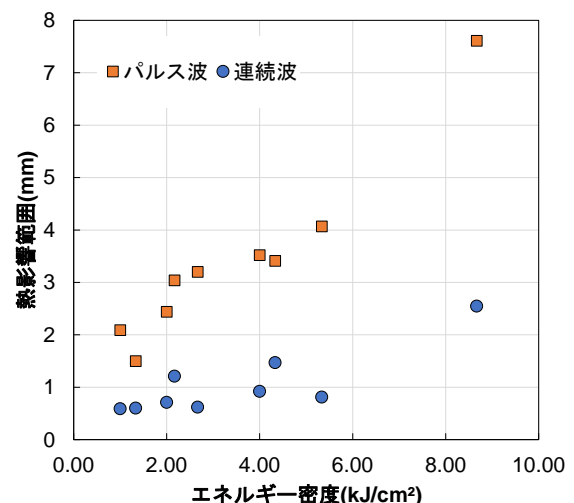


図3 熱影響範囲測定結果

射方式が異なっており、照射後の状況が異なることが確認されている。連続波では、コンクリート表面に対し、レーザの熱影響によってガラス化する条件としにくい条件を確認した。コンクリートは1200℃になると熔融され、コンクリートに含まれるSiO<sub>2</sub>が急熱急冷によってガラスとなる<sup>5)6)</sup>。ガラス化しにくい条件とは、エネルギー密度1kJ/cm<sup>2</sup>の条件において供試体表面が高温に至らない設定である。ガラス化の状況については、本実験内の条件において、図2、3よりコンクリート表面を覆っているセメント質を熔融させるが内部に含まれる骨材まで熱影響が及ぼされておらず表層0.6～2.5mmの範囲にとどまっていることから同じ箇所に対して複数回照射を行ってしまい、コンクリート表面の熔融にエネルギーが使用されたことから、熱影響範囲が小さかったと考える。

パルスについては、すべての条件で写真3のように供試体表面にガラス化を確認した。ガラス化の状況については、写真3よりエネルギー密度が増加するに伴って、ガラスの量は連続波と比較すると大幅に増加し、ガラス形状としては写真2のように空気を充填した気泡のようなガラス化、エネルギー密度の増加に伴って雫状のガラス化が確認された。また、熱影響範囲に表層1.5～7.5mmに及んでおり、最大エネルギー密度で照射した場合、約3倍熱影響範囲に違いが生じた。ガラス化の他に考えられる要因として、供試体表面に含まれる水分が蒸発し、体積膨張すること図4のように爆裂が生じた<sup>7)</sup>ことでパルス波照射によって熱影響範囲が増加したと考えられる。

連続波とパルス波では、コンクリートに対してもレーザ照射後の影響が大幅に違うことが示された。コンクリートはつりにおいては、コンクリート表面を粗面にすること、表層から約20mmはつり深さが求められることから、本条件範囲ではパルスでの照射が有効であると考えられる。

### 3.2 質量変化率

供試体断面を写真4、質量変化率測定結果を図5に示す。本実験範囲内の条件においては、エネルギー密度の増加に伴って、質量変化量が増加する傾向を示した。連続波とパルス波を比較すると連続波は最大0.29%、1kJ/cm<sup>2</sup>あた

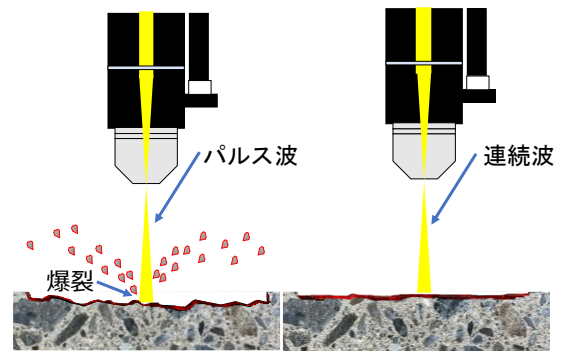


図4 コンクリート除去模式図

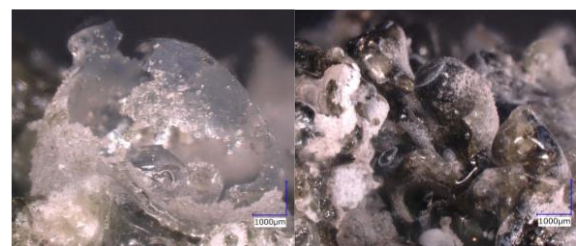


写真2 ガラス化状況



エネルギー密度：  
8.7kJ/cm<sup>2</sup>                      1.0kJ/cm<sup>2</sup>  
写真3 供試体表面

り0.016%減少した。写真4のように連続波は、表層のセメント質のみを熔融し、供試体表面に熔融物が残ったため、質量変化量が大きく減少しなかったと考える。一方、パルス波は最大1.32%、1kJ/cm<sup>2</sup>あたり0.087%減少した。パルス波は、コンクリートがレーザ照射によって蒸発、昇華したこと、爆裂が起こること外部に飛散し、大きく質量が減少したと考える。

供試体圧縮強度による比較は、本実験の照射条件においては、質量変化量に大きな違いは、確認されなかった。これは、レーザ照射における特徴として局所的な照射が可能という点が

あるため、表層にのみ大きな温度変化が生じており、供試体全体には生じていないことから圧縮強度による影響は生じなかったと考える。一方、既往の研究では、火災時において高強度コンクリートが爆裂することが報告されている<sup>8)</sup>。今後、供試体の条件やレーザーの出力等の受験を変化させて全面照射時の影響を検討する予定である。

#### 4 まとめ

本報告より得られた知見を以下に示す。

- (1) CWとパルスでレーザー照射後の影響が大幅に違うことが示された。コンクリートはつりにおいては、コンクリート表面を粗面にすること、表層から約20mmはつり深さが求められることから、パルスでの照射が適切であると考えられる。
- (2) CWは供試体表層0.5～3.0mmに熱影響を与え、パルスでは、供試体表層2.2～9.1mmに熱影響を与えることが確認された。
- (3) CWとパルスを比較すると図5よりCWは最大0.29%、 $1\text{kJ}/\text{cm}^2$ あたり0.016%変化し、パルスは最大1.32%、 $1\text{kJ}/\text{cm}^2$ あたり0.087%変化した。
- (4) 供試体圧縮強度による比較は、本実験の照射条件においては、圧縮強度の違いによる質量変化量に大きな違いは、確認されなかった。

#### 参考文献

- 1) 松下博通:コンクリート構造物の初期欠陥および劣化のメカニズム, 安全工学 39 巻 4 号,pp. 234-246,2000
- 2) 紫桃孝一郎, 上東泰,野島昭, 吉田敦:ウォータージェット技術を利用した新旧コンクリート構造物の一体化処理, コンクリート工学,38 巻,8 号,pp40-54,2000
- 3) Uichi Kubo: Present status of Laser application for medicine,レーザー研究、第7巻第2号,1979
- 4) Kaori Nagai, Stefan Beckemper, Reinhart Poprawe: Laser Drilling of Small Holes in Fifferent Kinds of Concrete, Civil Engineering Journal, Vol.4, pp. 766-775,2018.
- 5) 清水一希,島村俊紀,永井香織: レーザによ

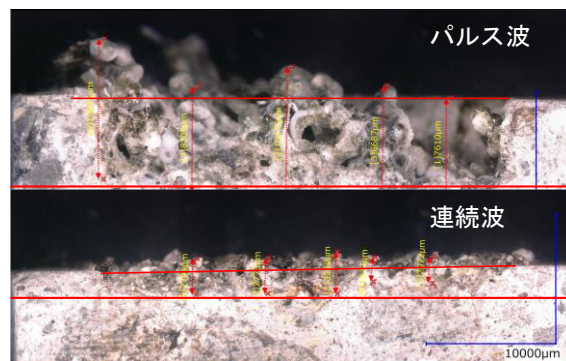


写真4 供試体断面

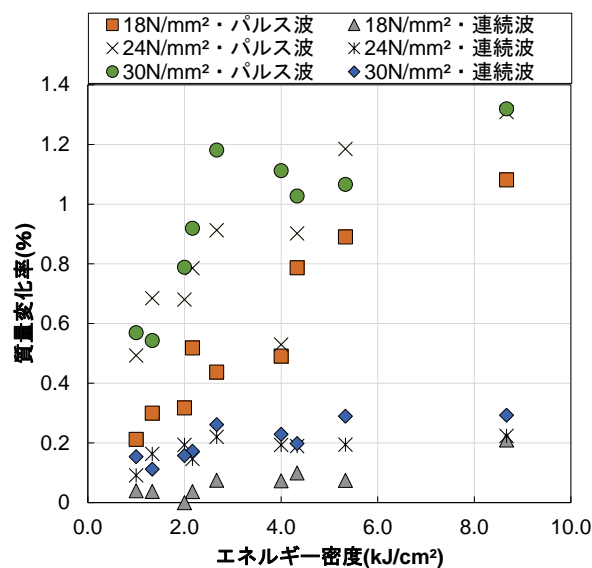


図5 質量変化量測定結果

- るコンクリート穿孔に関する研究ファイバーレーザーを用いた場合,日本建築学会関東支部研究報告集 I ,pp37-40,2020.3
- 6) 今関幹, 永井香織:小型レーザーによるモルタル表面のガラス化に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.211-212,2021
- 7) 新井武二,浅野哲崇,及川昌志: 10kW ファイバーレーザーによるコンクリート石材の剥離除去加工:精密工学会春季大会学術講演会講演論文集,pp17-18,2012
- 8) 井上明人,飛坂基夫,梶田佳寛: 高強度コンクリートの耐火性の評価に関する研究(第2報;骨材の岩質及び含水率の影響),日本建築学会大会学術講演梗概集(東北) A.pp.739 ~740,1991.9