

レーザによるコンクリート表面のはつりの可能性

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

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¹⁾。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²⁾。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る。

一方レーザの特徴として、低騒音、低振動、微粉塵、無反動、遠隔操作等が挙げられ³⁾、レーザを建設現場に適用することは作業者、環境への負担軽減が期待される。

本研究は、レーザを用いたコンクリート表面約 20mm のコンクリートはつり工法の開発を目的に実験的研究開発を行っている。

本報告は、異なるレーザ照射条件（DFS、照射回数、照射角度）供試体状況によるコンクリート表面への照射の影響がどのように現れるのかを実験的に検証した結果について述べる。

2. 供試体

供試体の調合を表1に示す。供試体は無筋コンクリートとし、呼び強度 18N/mm^2 とした。コンクリート打設後、2日で型枠を脱枠し、供試体は試験日まで28日間気中養生した。なお圧縮試験に用いた供試体も同一養生とし、材齢28日における試験体の圧縮強度は、 $\sigma_{28} = 20.1\text{N/mm}^2$ であることを確認した。供試体寸法は、 $350 \times 350 \times 50\text{mm}$ とした。

3. 実験方法

3-1. 照射条件

照射条件を表2に示す。実験には、2kW ファ이버レーザを使用した。モードはパルスとし、パルス幅 30ms、周波数 16.6Hz、照射速度 10mm/s に設定した。照射回数 3 水準、照射角度 3 水準、試験体状態 2 水準で実施した。

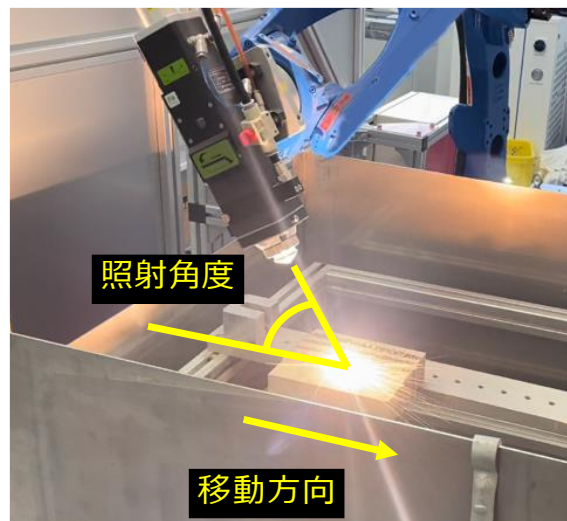


写真1 レーザ照射の様子

表1 供試体調合

W/C	s/a	単位量					
		(kg/m ³)					
%	%	W	C	S1	S2	G	Ad
65	50	174	270	552	368	918	2.7

表2 照射条件

出力	パルス幅	周波数	照射速度	DFS	照射角度	照射回数	供試体状態
(W)	(ms)	(Hz)	(mm/s)	(mm)	(°)	(回)	
2000	30	16.6	10	100	30	1	気中状態 霧吹き状態
				150	60	2	
					90	3	

Potential for Laser Concrete Surface Chipping

Taito SUETAKE, Daiki ICHIYAMA, Susumu BAN and Kaori NAGAI

3-2. 照射方法

レーザ照射の様子を写真1に示す。レーザ発振器をロボットアームに取り付け、レーザ発振器は供試体上面に対し、30°、60°、90°に照射されるようにセットした。ロボットアームは、設定した速度で一直線上に移動させた。

3-3. 評価方法

a. はつり深さの測定

測定箇所模式図を図1に示す。供試体の凹凸状況を非接触3D形状測定機(T社COMET5-11M)を用いて測定した。評価項目は、供試体状態・レーザ条件(DFS、照射角度、照射回数)の違いによるはつり深さの測定を行い、(1)式を用いて平均はつり深さを算出した。

$$\bar{n} = \frac{n1+n2+n3+n4+n5}{5} \quad \cdots(1)$$

$\bar{n}$ …平均はつり深さ(mm)
 n_x …はつり深さ(mm)

b. 供試体観察

レーザ照射後の供試体状態の観察はマイクロスコプ(K社VHX-5000)を用いて行った。観察項目は、表面、断面状況である。

4. 結果および考察

4-1. DFSの比較

気中状態のDFSとはつり深さの関係を図2、霧吹き状態のDFSとはつり深さの関係を図3、DFSが異なる供試体の断面を写真1に示す。はつり深さについては、DFS100mmの方がDFS150mmより大きい値を示す結果を示した。DFSは、レーザの焦点から供試体までの距離のことであり、DFSを小さくするとレーザが照射される面積が小さくなることで、面積当たりのエネルギーが大きくなる。よってコンクリート表面への熱影響が大きくなり、はつり深さが深くなったと考える。

断面観察については、DFS100mmの場合とDFS150mmの場合でガラス化の状況が異なることが確認された。DFS100mmの場合はガラス化が気泡のような形状になり、DFS150mmの場合はガラス化が層のように形成された。本供試体に含まれる珪砂は、一般的なガラスの原料でもあるため、レーザ照射による熱影響からガラスを形成する⁴⁾。レーザが照射されるに伴って、レーザの衝撃等が発生する⁵⁾。DFS100mmの場合、供試体との距離が近くなることで、衝撃によってコンクリートが飛散し

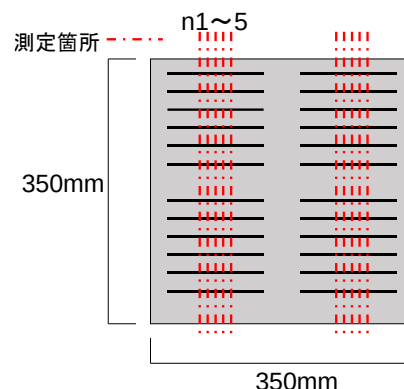


図1 測定箇所模式図

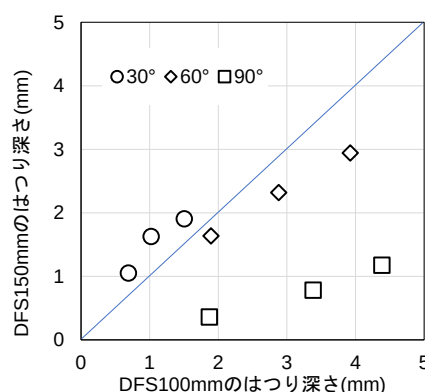


図2 気中状態のDFSとはつり深さの関係

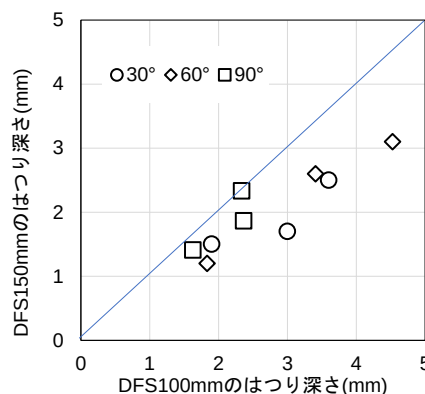


図3 霧吹き状態のDFSとはつり深さの関係



DFS100mm 照射角度90° 照射回数3回 気中状態
 DFS150mm 照射角度90° 照射回数3回 気中状態
 写真1 DFSが異なる供試体断面

たため、ガラス化が層にならなかったと考える。

4-2. 照射角度の比較

照射時の溶融物飛散状況を図4、照射角度とはつり深さの関係を図5、照射角度の異なる供試体断面を写真2に示す。はつり深さについては、照射角度 $30^{\circ} < 90^{\circ} < 60^{\circ}$ の順にはつり深さが増加する傾向を示した。照射角度を 90° から傾けるとレーザが照射される形が円形から次第に細長くなっていく。供試体に対する熱影響範囲が変化したことから照射角度 30° の場合最もはつり深さの値が減少したと考える。

断面観察については、照射角度 90° の場合最もガラス化が形成されていることが確認された。照射角度を傾けることによってレーザによる溶融物の飛散の仕方が大きく異なり、鉛直方向に飛散する場合と、照射角度 90° で照射することで水平方向に飛散する場合が確認された。これによってガラス量に違いが生じ、はつり箇所の外にガラス化が生じたことから照射角度 60° の条件が最もはつり深さが増加したと考える。

4-3. 照射回数の比較

照射回数と平均はつり深さ増加量を図6に示す。はつり深さについては、図5より照射回数を増加させるとはつり深さも増加する傾向を確認した。

一方、図6より照射回数が増加すると1回あたりのはつり深さ増加量が減少する傾向を示した。照射回数が増えると供試体に与えられる熱量が増加することで、はつり深さが増加しているが、ガラス量も増加している。2回目以降のレーザ照射では、レーザがコンクリート面まで到達する前に1回目のレーザ照射によって生じた

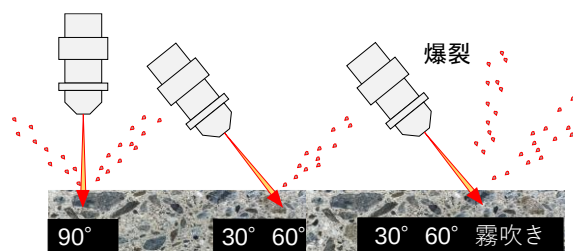


図4 照射時の溶融物飛散状況

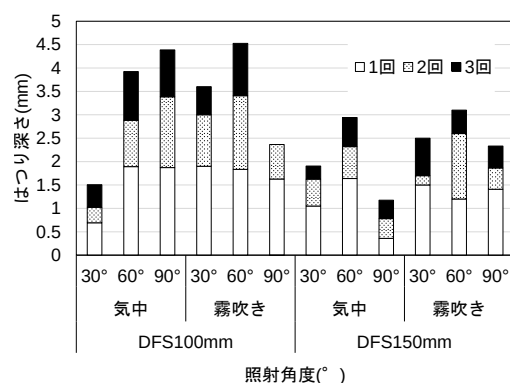


図5 照射角度とはつり深さの関係

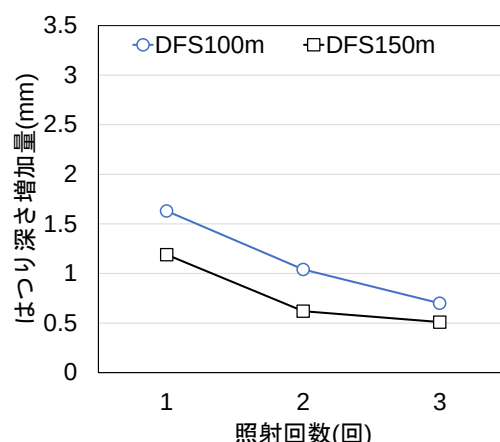


図6 照射回数と平均はつり深さ増加量



DFS100mm
照射角度 90°
照射回数2回
気中状態

DFS100mm
照射角度 60°
照射回数2回
気中状態

DFS100mm
照射角度 30°
照射回数2回
気中状態

写真2 照射角度の異なる供試体断面

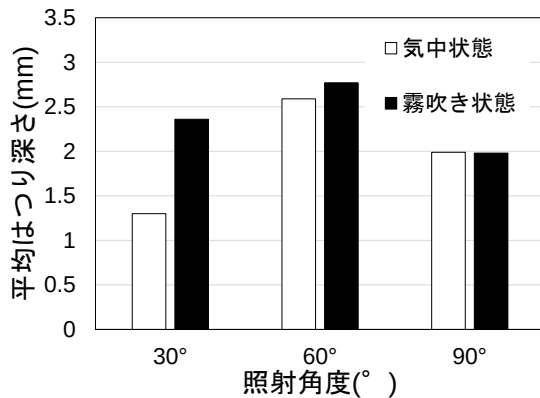


図7 供試体状態とはつり深さの関係

ガラスがレーザー光を反射し、ガラスの熔融にエネルギーを消費することで照射回数の増加に伴って1回あたりのはつり深さ増加量が減少したと考える。

4-4. 供試体状態の比較

供試体状態とはつり深さの関係を図7、爆裂した供試体表面を写真3に示す。はつり深さについては、気中状態と霧吹き状態では、霧吹き状態の方がはつり深さが増加する傾向を示した。照射角度30°の条件では、約2倍霧吹き状態の方がはつり深さが増加した。

表面観察については、霧吹き状態の供試体表面にガラス層が剥離された箇所を確認した。気中状態と霧吹き状態のレーザー照射状況の違いとして、照射角度を傾けた場合でも、鉛直方向に熔融物が飛散したことが確認された。既往の研究では⁶⁾ コンクリート表面に含まれた水分がレーザー照射によって水蒸気になることで、体積が増加し、コンクリート表面に爆裂が生じた。本実験の状況も既往研究と同様にコンクリート表面が剥離され、熔融物の飛散状況が異なり、はつり深さが増加したと考える。

5. まとめ

- (1)DFSを近づけることでエネルギー密度が増加するし、はつり深さが増加する。また、DFSによってレーザー照射後のガラス化形状が異なる。
- (2)照射角度60°で照射した場合のはつり深さが最も増加したことを確認した。照射角度90°と60°、30°では、レーザー照射によるコンクリート表面の熔融物が飛散する方向が変わることが確認された。



写真3 爆裂した供試体表面

- (3)照射回数を増加させるとはつり深さも増加する傾向を確認した。また、照射回数が増加すると1回あたりのはつり深さ増加量が減少する傾向が確認された。
- (4)供試体状態を霧吹き状態に変化させると供試体表面に爆裂が生じ、熔融物飛散状況に変化が見られた。

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, pp. 40-54, 2000
- 3) Uichi Kubo: Present status of Laser application for medicine, レーザ研究, 第 7 巻第 2 号, 1979
- 4) 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要集, pp. 211-212, 2021
- 5) 大村悦二, 福本一郎, 宮本勇: レーザ衝撃減少の分子動力学シミュレーション, 精密工学会誌, 66 巻 4 号, pp. 635-639, 2000
- 6) 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, p. 17-18, 2012