

建築分野におけるレーザーの応用に関する研究

－レーザー条件とコンクリート穿孔について－

日大生産工（学部） ○清水 一希 日大生産工（学部） 島村 俊紀
日大生産工 永井 香織

1. はじめに

建設分野におけるレーザーの利用は、材料加工、装飾等を目的として、工場内で、穿孔、切断、溶接、表面処理等が実施¹⁾²⁾されている。近年では建設現場での適用開発が進み、レーザーによるクリーニングや打音検査等³⁾に使用されはじめている。また、コンクリートの切断や穿孔を目的とした実験⁴⁾も行われている。

建築分野におけるコンクリート穿孔は、既存のコンクリート構造物の耐震補強工事や設備機材の取付けの需要の増加、橋や高速道路（トンネル）などのリニューアル工事の増加により年々増加している。穿孔には、現在、コンクリートドリルやダイヤモンドカッターなどの工具が用いられるが、騒音や振動、粉塵、反力などの問題がある。その対策として低騒音ドリルや低振動カッターなどの開発が行われているが、解決には至っていない。

レーザーの特徴として、低騒音、低振動、無反力、遠隔操作等⁵⁾が挙げられ、建築現場にレーザーを導入することは、騒音低減や作業の自動化、工期短縮等に有効な施工方法と考える。しかし、小型化やコストなどの課題⁶⁾により、実用化されている例がない。

そこで本研究では、低騒音、低振動、無反力の特徴に着目し、レーザードリルの可能性検討⁷⁾を行っている。コンクリートには骨材が含まれているため、その影響を確認する必要がある。

表1 石材の詳細

石材の種類	産地	密度(g/cm ³)	吸水率(%)	耐熱温度(°C)	熱伝導率(kcal/mh°C)
石灰岩	山梨県大月市	5.46	2.5	1000	2.31
安山岩	埼玉県秩父市	7.74	11	600	0.56
砂岩	東京都八王子市	4.71	0.5~5.0	1000	0.67



写真1 試験体

本報告では、コンクリートに用いられる石材を対象とし、レーザー照射を行い、石材の種類による穿孔径および深さを比較した結果について述べる。

2. 試験体

石材の詳細を表1に示す。また試験体を写真1に示す。試験体の寸法は、長さ100mm、幅30mm、高さ40mmとした。

実験に用いた石材は、石灰岩、安山岩、砂岩の3種類とした。あらかじめ20N/mm²のコンクリートを作製し、切断することで目的とする骨材を露出させ、その面を試験体とした。なお、石材表面はレーザーのスポット径が1mmであることから写真2のように熱影響なども考慮し直径5mm以上のものを対象とした。

3. レーザー発信器

実験には1kWのファイバレーザー（F社製）を使用した。モードはパルスとし、スポットサイズΦ1mm、Duty50%に設定した。また、アシストガスはAIRを使用した。

表2 実験条件

石材	周波数(Hz)	パルス回数					(回)
		10	20	30	40	50	
石灰岩(No.1)	5						(秒)
安山岩(No.3)		2	4	6	8	10	
砂岩(No.5)							
石灰岩(No.2)	30	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	(秒)
安山岩(No.4)							
砂岩(No.6)							

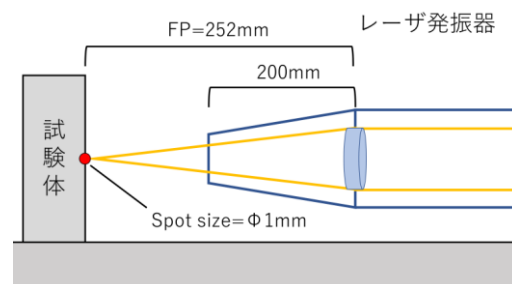


図1 レーザ照射の模式図

Study on application of laser in architecture

－ Laser conditions and concrete drilling －

Kazuki SHIMIZU, Toshiki SHIMAMURA and Kaori NAGAI

表3 5Hzにおける穿孔径

パルス回数(回)	粗骨材別穿孔径(5Hz)[mm]		
	石灰岩(No.1)	安山岩(No.3)	砂岩(No.5)
10	2.40	2.69	2.91
20	2.65	2.95	3.28
30	2.75	3.41	3.68
40	3.12	3.57	3.37
50	2.95	3.46	3.41
最も値が大きい割合	0%	40%	60%

表4 5Hzにおける穿孔深さ

パルス回数(回)	粗骨材別穿孔深さ(5Hz)[mm]		
	石灰岩(No.1)	安山岩(No.3)	砂岩(No.5)
10	14.05	15.51	13.57
20	21.96	20.79	22.20
30	27.03	27.58	25.12
40	27.09	29.79	29.14
50	32.16	28.16	29.63
最も値が大きい割合	20%	60%	20%

表5 30Hzにおける穿孔径

パルス回数(回)	粗骨材別穿孔径(30Hz)[mm]		
	石灰岩(No.2)	安山岩(No.4)	砂岩(No.6)
10	2.96	2.40	2.71
20	2.14	2.45	2.90
30	2.66	2.95	3.57
40	2.63	3.18	3.03
50	2.57	3.14	3.09
最も値が大きい割合	20%	40%	40%

表6 30Hzにおける穿孔深さ

パルス回数(回)	粗骨材別穿孔深さ(30Hz)[mm]		
	石灰岩(No.2)	安山岩(No.4)	砂岩(No.6)
10	2.56	2.95	3.74
20	3.59	4.84	5.41
30	7.83	7.64	7.72
40	7.24	9.64	10.41
50	9.74	11.38	10.20
最も値が大きい割合	20%	20%	60%

4. 実験方法

4-1. レーザ照射

実験条件を表2に示す。レーザ照射器の条件は、2種類の周波数、5水準のパルス回数で実施した。パルス回数についての設定は回数で管理し、5水準のパルス回数を用いた。また試験は全て3回行った。

4-2. 照射方法

照射方法の模式図を図1に示す。コンクリート試験体の露出している石材に対し、あらかじめ設定した条件（周波数、パルス回数）でレーザ照射を行った。また、照射は全て石材表面で焦点となるように設定した。

4-3. 評価項目

調査方法は、目視観察および顕微鏡による照射面および断面の穿孔状況の観察と、穿孔径および穿孔深さの測定を行った。測定を行う顕微鏡はデジタルマイクロスコプ(K社 VHX-5000)を使用した。

5. 実験結果および考察

5-1. 5Hzによる穿孔径および深さの結果

周波数5Hz、AIRのアシストガスでレーザ照射を行い、穿孔径の結果を表3および図2に、穿孔深さの結果を表4および図3に示す。穿孔径については、砂岩が最も穿孔径が大きく、それに対し石灰岩は最も穿孔径が小さい値を示す結果となった。最も穿孔径が大きい砂岩と次いで穿孔径が大きい安山岩を比較すると、最大でも約0.2mmの差を示した。また、これら2種類の石材は、照射後、照射面を観察した結果ガラス化が形成された。そのため、照射している

過程で石材が熔融されアシストガスの影響によって除去され、穿孔径が大きくなったと考える。一方、石灰岩に関してはガラス化は形成されなかった。これは石灰岩の沸点よりレーザが照射しているときの温度のほうが高かった⁸⁾ため、昇華したと考える。それによりレーザを照射しているときにはガラス化は起きず昇華して縮小したため、アシストガスによって除去されず、穿孔径が小さくなったと考える。

穿孔深さについては、安山岩が最も穿孔深さが大きく、それに対し石灰岩および砂岩は穿孔深さが小さい値を示す結果となった。断面状況を確認した結果、砂岩はガラス化が多くみられ、安山岩はガラス化しているが、そこまで多くはみられなかった。また、石灰岩に関してガラス化はみられなかった。そこから穿孔深さに関しては、ガラス化をしすぎているとレーザを照射している過程でガラスが中に詰まり穿孔しにくくなると考える。また、ガラス化を全くしない条件でも、石材が熔融しないためアシストガスでも除去されず、穿孔しにくくなると考える。

5-2. 30Hzによる穿孔径および深さの結果

周波数30Hz、AIRのアシストガスでレーザ照射を行い、その穿孔径の結果を表5および図4に、穿孔深さの結果を表6および図5に示す。

穿孔径については、安山岩と砂岩は穿孔径が大きく、それに対し石灰岩は最も穿孔径が小さい値を示す結果となった。安山岩と砂岩の石材は、照射後、照射面を観察した結果ガラス化が形成された。そのため、照射している過程で石材が熔融されアシストガスの影響によって除去され、穿孔径が大きくなったと考える。また、石灰岩に関してガラス化は起きなかった。これは石灰岩の沸点よりレーザが照射してい

るときの温度のほうが高かったため、昇華したと考える。それによりレーザを照射しているときにはガラス化は起きず昇華して縮小したため、アシストガスによって除去されず、穿孔径が小さくなったと考える。

穿孔深さについては、安山岩は最も穿孔深さが大きく、それに対し石灰岩および安山岩は穿孔深さが小さい値を示す結果となった。断面状況を確認した結果、砂岩はガラス化が多くみられ、安山岩はガラス化があまりみられなかった。また、石灰岩に関してガラス化はみられなかった。そこから穿孔深さに関してもガラス化している石材がより穿孔できると考える。

5-3. 周波数5Hzと30Hzの穿孔状況の比較

図6および図7に周波数の違いによる穿孔径および深さの相関関係を示す。写真3および写真4に周波数別による穿孔例を示す。

穿孔径についての比較は、各パルス回数で、どの石材部分においても、最大で約0.5mmの差しかなかったため、周波数による穿孔径の違いはあまりないと考える。また、全体では5Hzの

ほうが平均で約0.2mm穿孔径が大きい値となった。これは5Hzの照射時間は30Hzと比べて長いためだと考える。石材に関しては共通で安山岩および砂岩の穿孔径が大きい結果となった。これは照射している過程でのガラス化が、アシストガスの影響により除去され穿孔径が大きくなったと考える。

穿孔深さについての比較は、全体的に5Hzのほうが穿孔できる結果となった。各パルス回数でどの石材部分においても、約10mm以上、最も大きい値では約20mmの差を示した。これは5Hzの照射時間は30Hzと比べて長いためだと考える。また、穿孔できている石材を比較すると、5Hzでは安山岩、30Hzでは砂岩となった。5Hzではガラス化しすぎると穿孔できないが、30Hzではガラス化するほど穿孔できている。これはレーザの照射時間と関係していると考ええる。5Hzは照射時間が長いため、熔融したガラスが溜まっていく一方、30Hzでもガラス化するが照射時間は短いため、ガラス化の量が異なり、効率よく穿孔できたと推測できる。

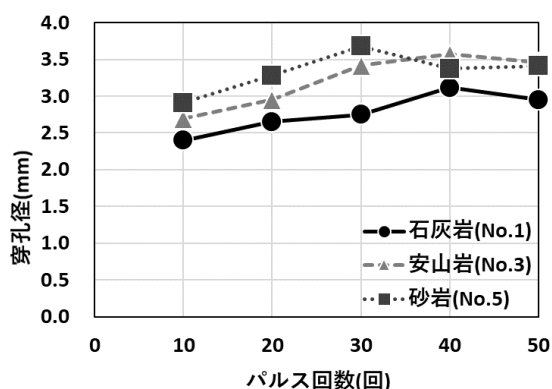


図2 5Hzのパルス回数による穿孔径

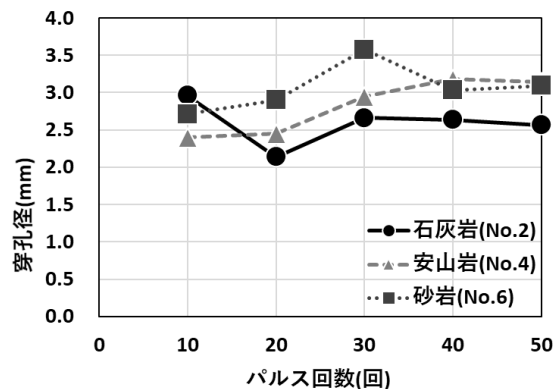


図4 30Hzのパルス回数による穿孔径

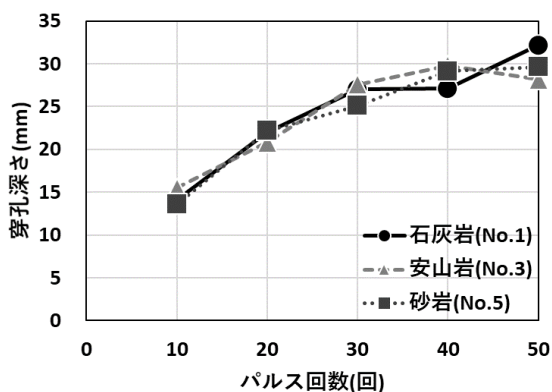


図3 5Hzのパルス回数による穿孔深さ

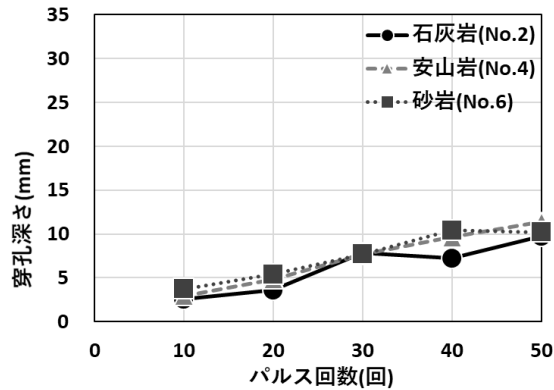


図5 30Hzのパルス回数による穿孔深さ

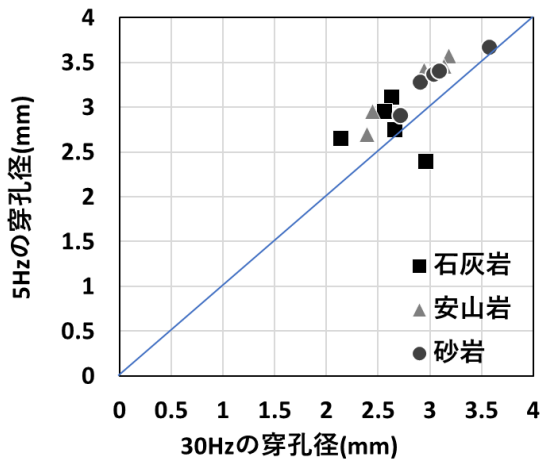


図6 周波数の違いによる径の相関関係

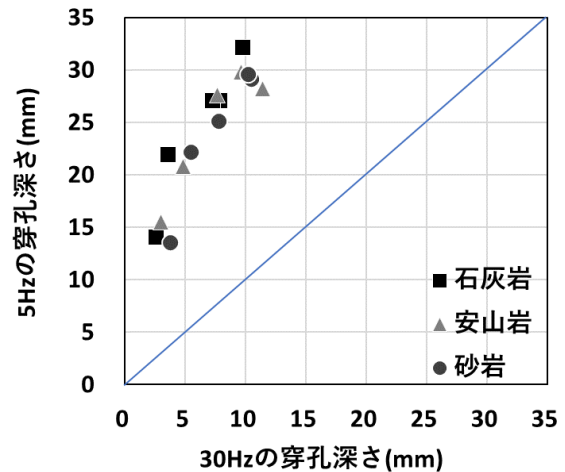


図7 周波数の違いによる深さの相関関係



写真2 5Hzの穿孔例（石灰岩）

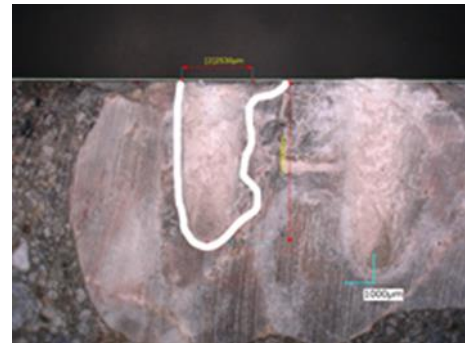


写真3 30Hzの穿孔例（石灰岩）

6. まとめ

- (1) 安山岩、砂岩の石材は条件によっては穿孔でき、石灰岩は穿孔しにくい。
- (2) 穿孔径は、周波数による違いはあまり少ない。また、共通してガラス化する石材が穿孔径が大きくなる傾向を示した。
- (3) 周波数5Hzの条件での穿孔深さは、あまりガラス化しない安山岩の石材が平均的に穿孔できた。
- (4) 周波数30Hzの条件での穿孔深さは、ガラス化する砂岩の石材が平均的に穿孔できた。

参考文献

- 1) レーザ学会、レーザの応用に関する、47 章、オプトロニクス社、1998、PP117-132
- 2) 永井香織、レーザによる建築材料の仕上げ方法の開発に関する研究、P2-3、8-27
- 3) 歌川紀之、トンネル覆工コンクリートの診断 日本音響学会誌、69巻、3号、2013、PP127-132
- 4) 北海道開発土木研究所、住友重機械工業株式会社、大出力レーザの各種土木工事適用に向けての基礎的検討、溶接学会全国大会講演概要、第 27 集、2003-4、PP16-17
- 5) Uichi Kubo、Present status of Laser application for medicine 、1979 July 30 、レーザ研究、第7巻第2号
- 6) 桶屋秀斗、レーザによるコンクリート穿孔に関する研究、2016 Dec 13、日本大学生産工学部学術講演会概要、P. 92
- 7) Kaori Nagai, Stefan Beckemper, Reinhart Poparawe、Laser Drilling of Small Holes in Different Kinds of Concrete、Civil Engineering Journal、2018、April
- 8) 高橋 出、建設分野におけるレーザ応用に関する研究、卒業論文、平成30年度、P37