

レーザーによるコンクリート穿孔に関する研究

日大生産工 (学部) ○桶屋秀斗 日大生産工 永井香織

1. はじめに

近年日本では、東日本大震災や熊本地震により防災に対する意識が高まり、耐震補強工事やタイル剥落防止工事等の対策工事件数が増加している¹⁾。これらの工事では、アンカーボルトやアンカーピンを打ち込む為にコンクリートの穿孔が必要である。その際に必要な穿孔データを表1に示す²⁾³⁾。穿孔は、コンクリートドリルを用いており、騒音や振動、粉塵、高所作業時の反力等が問題視され、病院や高齢者施設等休業できない施設や、超高層建築物での作業では、対策が求められている。

この問題の改善として、低騒音ドリルや無振動ドリルが実用化されているが、いずれも騒音や振動への対策であり反力への対策が行われていない。反力への対策としてレーザーを用いたコンクリート穿孔技術がある。

現在レーザー技術は、医療関係、金属加工、材料の表面加工等の微細加工に用いられている⁴⁾⁻⁸⁾。そこで、本研究は、タイル剥落防止工事の際の穿孔作業時に問題視される騒音や振動、粉塵、反力等の解消を目的とし、これらの問題点がなく穿孔できるレーザーでの穿孔の可能性検討を行う。本報告は、レーザーによりコンクリート躯体に、タイル剥落防止工事が必要である微細径の穿孔を施すことを目的に各種レーザー条件でコンクリートにレーザー照射を行った結果を述べる。

2. 実験方法

2.1 実験項目

本研究では以下の3項目について実験を行った。

1. レーザ発振方法の変化における穿孔状況の比較
2. DFS・照射時間の変化における穿孔状況の比較
3. 超高強度コンクリート穿孔の可能性検討

2.2 コンクリート条件

各実験のコンクリート条件を表2に示す。試験体寸法は100×100×100mmとした。

2.3 レーザ照射条件

レーザー照射条件を表3に示す。DFSは、タイル剥落防止工事に必要な穿孔径4~6mmを目標とした。本実験では、ディスクレーザーTruDisk10003 (YAGdiskレーザー: 1030nm)を用いた。

2.4 試験方法

1条件につき5回レーザーを照射した。その後、コンクリートカッターを用いレーザーによりできた孔を照射面に対し垂直に切断し、切断面の観察および穿孔深さ、穿孔径の測定を行った。なお、穿孔深さおよび穿孔径は5回の結果の平均値を測定結果とした。測定終了後、目視で穿孔形状の確認を行った。

表1 各種工法穿孔データ

工法	穿孔径(mm)	穿孔深さ(mm)
耐震補強工事	14.5~23.5	145~245
タイル剥落防止工事	5~7	55~75

表2 コンクリート条件

	コンクリート条件	
	圧縮強度(N/mm ²)	養生期間
1	20, 35, 50	91days 封緘養生
2	35	68days 封緘養生
3	100	68days 封緘養生

表3 レーザ照射条件

	出力(kW)	発振方法	DFS(mm)	照射時間(s)
1	1	P, CW	40	3, 5, 10, 15
2	1, 3, 5, 10	CW	10~110	3, 5, 10, 15
3	1, 3, 5, 10	CW	10~110	3, 5, 10, 15

Study on Different Type of Concrete Drilling by Laser

Hideto OKEYA, Kaori NAGAI

3. 試験結果および考察

3.1 レーザ発振方法における穿孔状況の比較実験

3.1.1 コンクリート圧縮強度における比較

P 照射、CW 照射による穿孔深さとコンクリート圧縮強度の関係を図 1 に示す。

P 照射、CW 照射ともにコンクリート圧縮強度が高くなるにつれ穿孔深さも深くなる傾向がみられた。また、CW 照射ではコンクリート圧縮強度が高くなるにつれ、穿孔深さの平均値も上昇する傾向がみられたが、平均値の伸び率は 20N/mm²～35N/mm² の範囲に比べ、35N/mm²～50N/mm² の範囲の方が若干減少する傾向がみられた。これは、圧縮強度が高くなるにつれ、コンクリートの密度が高くなるため、穿孔深さの振幅幅が大きくなるのが原因ではないかと考えられる。レーザー発振方法別の各出力による穿孔深さと穿孔径の関係を図 2、図 3 に示す。P 照射では顕著に表れているが、全てのコンクリート圧縮強度において、穿孔深さが深くなるにつれ穿孔径も大きくなる傾向がみられた。しかし、CW 照射では、20N/mm²～35N/mm² の範囲ではそのような傾向がみられなかった。

また、P 照射と CW 照射の穿孔深さを比較すると、CW 照射の方が深く穿孔できる傾向がみられた。これは、CW 照射は続けて照射し続けるため、CW 照射の方がピーク時の熱エネルギーが P 照射に比べ高いのではないかと考えられる。

3.2 穿孔径・時間の変化における穿孔状況比較実験

穿孔形状を確認したところ、4 種類の穿孔形状に分類することができた。その分類方法を、表 4 に示す。ただし、今回の測定では、穿孔径の値が穿孔深さの値を超えているものは除外した。

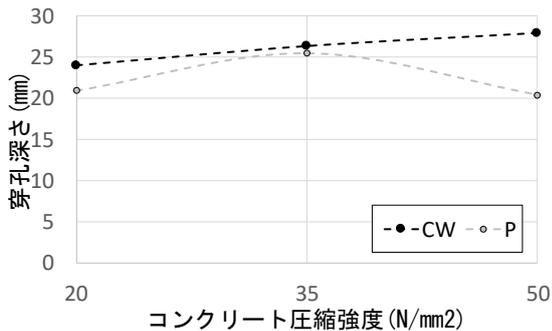


図 1 発振方法別穿孔深さと圧縮強度の関係

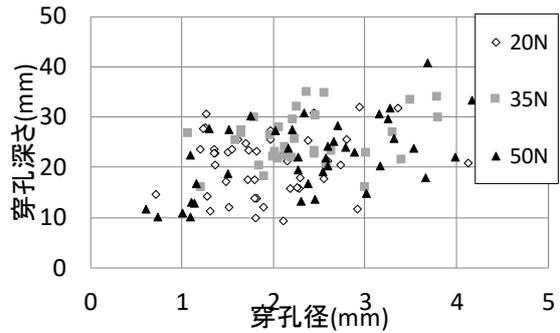


図 2 P 照射における穿孔深さと穿孔径の関係

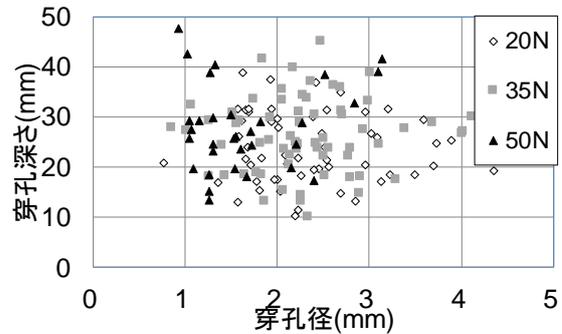
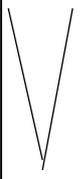
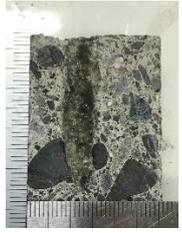


図 3 CW 照射における穿孔深さと穿孔径の関係

表 4 CW 照射における穿孔深さと穿孔径の関係

穿孔形状 A		穿孔形状 B	
			
V 字の形		U 字の形	
穿孔形状 C		穿孔形状 D	
			
ひし形		しずく型	

3.2.1 穿孔径と穿孔深さの関係

穿孔径と穿孔深さの関係を図4に示す。全てのレーザー出力において、穿孔径の値が大きくなるにつれ、穿孔深さが小さくなる傾向がみられた。これは、穿孔径の値を大きくすることで穿孔面にあたるレーザーのパワー密度が低下するため、レーザーを妨げる要因が増え効率よく穿孔しにくくなることが原因だと考えられる。

また、レーザーの出力が増加するにつれ、最小穿孔径の値が増加する傾向がみられた。これは、レーザーの出力が増加することで、穿孔面にあたるレーザーのパワー密度が増加し、レーザー光の当たっている面以外への熱影響が増えてしまうことが原因ではないかと考えられる。

5kW では、レーザーの熱により穿孔径が広がってしまうため本研究で目標とするタイル剥落防止工事に必要な穿孔径を超えてしまう。そのため、5kW の照射では照射方法を変化させる必要があると考えられる。

3.2.2 穿孔深さにおける穿孔形状の変化

穿孔径と穿孔深さの変化における穿孔形状の変化を図5に示す。穿孔深さ8~22mmの範囲では穿孔形状A。17~32mmの範囲では穿孔形状B、30~58mmの範囲では穿孔形状Cが多くみられた。この様に、穿孔深さが深くなるにつれ、現れる穿孔形状が変化する傾向がみられた。これは、穿孔時のレーザー条件によって変化するのではないかと考えられる。穿孔形状Aは、その穿孔径において照射時間、出力を上げればより深く穿孔できるが途中で穿孔を終えてしまっている状態、穿孔形状Bは、その穿孔径において、最も効率よく穿孔できている状態、穿孔形状Cは、その穿孔径の値に対し、レーザー照射面にあたるパワー密度が高すぎるため、穿孔の途中でレーザーの力が拡散されてしまい、消費エネルギーに無駄が生じている状態の際に現れるのではないかと考えられる。

穿孔形状Dに関しては、数が少なく傾向は見られなかったが、穿孔径4~6mmかつ穿孔深さ30~34mmの小さい範囲にすべて現れたため、何らかの条件下で現れる可能性がある。

3.2.3 穿孔径の変化における穿孔形状の変化

穿孔径と穿孔深さの関係および穿孔径における穿孔

形状割合を図6に示す。穿孔径が大きくなるにつれ穿孔形状Aが多く現れる傾向がみられた。これは、の穿孔径の値が大きくなるにつれ、レーザーのパワー密度が低下するため、穿孔深さが小さくなるためではないかと考えられる。

また、穿孔径4mmでは穿孔形状C、Dが現れたがそのほかの値では現れなかった。これは、穿孔径7mm、10mmでは、今回の実験のレーザー出力および照射時間では、穿孔形状Cが多く現れた穿孔深さ30~58mmに達しなかったことが原因ではないかと考えられる。

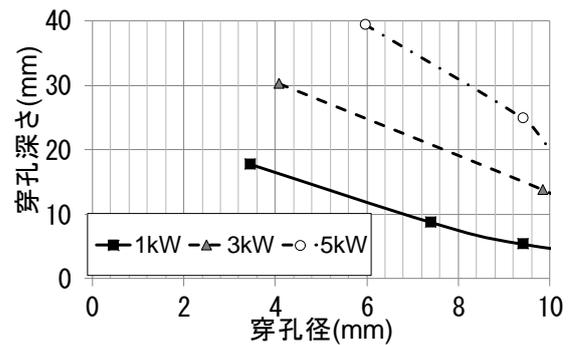


図4 穿孔深さと穿孔径の関係 (35N/mm², 5s)

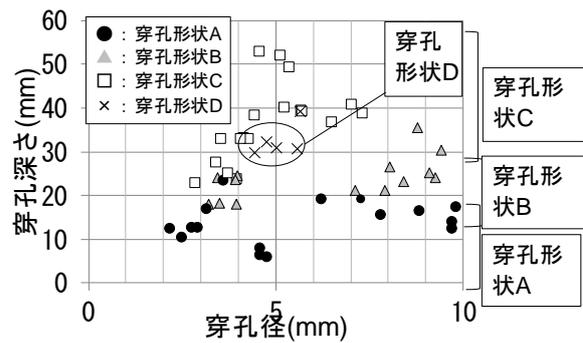


図5 穿孔深さと穿孔径の関係および穿孔形状散布図

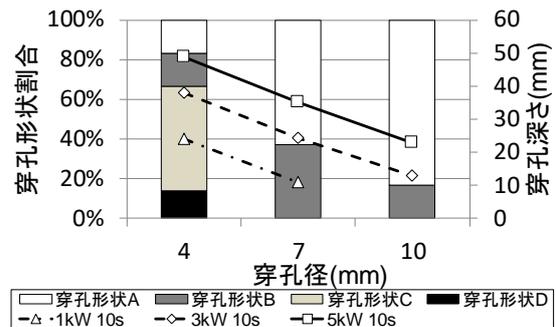


図6 穿孔深さと穿孔径の関係および穿孔形状割合

3.3 超高強度コンクリート穿孔の可能性検討実験

3.3.1 穿孔深さと穿孔径の関係

穿孔深さと穿孔径の関係を図9に示す。傾向等は3.1と同様のものが得られた。

3.3.2 穿孔深さにおける穿孔形状の変化

穿孔深さと穿孔径の変化における穿孔形状の変化を図7に示す。傾向等は3.1と同様のものが得られた。

3.3.3 穿孔径の変化における穿孔形状の変化

穿孔深さと穿孔径の関係及び穿孔径における穿孔形状割合を図8に示す。傾向等は3.1と同様のものが得られた。

4. まとめ

- 1). 本研究で行った全実験より、最大穿孔深さが54mmであった為、タイル剥落防止工事における穿孔に用いる事の出来る可能性がある。
- 2). コンクリート圧縮強度の変化において、穿孔深さおよび穿孔径の顕著な差異はみられなかった。しかし、コンクリート圧縮強度 100N/mm² では穿孔形状Dが現れなかった。
- 3). 穿孔深さ8~22mmの範囲では穿孔形状A、17mm~32mmでは穿孔形状B、30~58mmでは穿孔形状Cが多くみられた。このように穿孔深さの値が大きくなるにつれ、穿孔形状が変化する傾向がみられた。
- 4). 穿孔深さの値が大きくなるにつれ穿孔深さは小さくなる。しかし、全体的には減少傾向であったものの、穿孔径の値が大きくなるにつれの減少率は低くなる傾向がみられた。

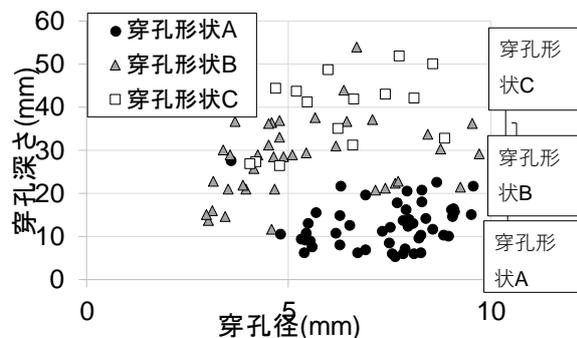


図7 穿孔深さと穿孔径の関係および穿孔形状散布図

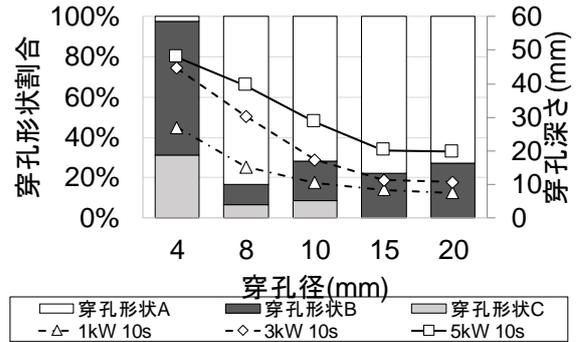


図8 穿孔深さと穿孔径の関係および穿孔形状割合

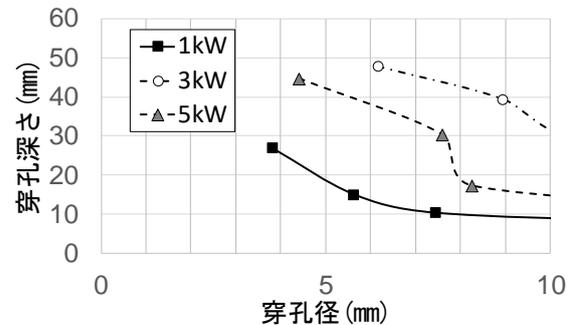


図9 5sにおける穿孔深さと穿孔径の関係(100N)

参考文献

- 1) 国土交通省, 住宅・建築物の耐震化の促進, 国土交通省, pp. 8-pp. 16, 2012. 3
- 2) 国土交通省, あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針, 国土交通省, pp. 5-pp. 8, 2006. 7
- 3) 近藤照夫, 総合建築リフォーム&リニューアル技術誌, 友澤史記, pp. 37-pp. 44, 2008. 4
- 4) 日本建築仕上学会, 大会学術講演会研究発表論文集 2005, 日本建築仕上学会, pp. 127-pp. 130, 2005. 10
- 5) 大成建設技術研究所, 大成建設技術研究所報 (31), 大成建設技術研究所, pp. 87-pp. 90, 1998
- 6) レーザー学会, レーザープロセッシング応用便覧, pp レーザー学会, .157-pp. 169, 2006. 5
- 7) OPTICS and LASERS ENGINEERIN, Optics and Lasers in Engineering 41 (2004), pp. 329-pp. 352, 2004. 4
- 8) 日本建築仕上学会, 大会学術講演会研究発表論文集 2006, 日本建築仕上学会, pp. 183-pp. 190, 2006. 10