

各種石材の熱による劣化に関する研究

日大生産工(院) ○清水 一希 日大生産工(学部) 今関 幹
日大生産工(学部) 刀称 龍平 日大生産工 永井 香織

1. はじめに

1917年にレーザ技術の基礎「誘導放出」をアルバートアインシュタインが予測してから、レーザ技術の最初の目的は、1960年代の軍事用の距離計測であった¹⁾。その後もレーザ技術は日々改良や効率化が行われ、現在では、機械や医療など様々な分野で幅広くレーザ技術が適用されている。

レーザ技術の特徴として、指向性および集光性に優れているため微細加工が可能であることや、加熱エリアが小さいため熱による変形を最小限に抑える精密加工が可能であることが挙げられる。また、出力やレンズの集光により高いエネルギー密度が得られるため、従来より速い速度での加工が可能である。金属材料のレーザ加工は、1975年より工場などで実用化されている²⁾。近年、建設分野でのレーザ技術は、クリーニング³⁾や計測⁴⁾などに使用され始めている。また無機材料のレーザ加工では材料の種

類によって加工効果が異なることが確認されており⁵⁾、適切な条件や加工を行う際に発生する熱影響や劣化現象については明確にされていないのが現状である。

本研究はレーザを用いた無機材料の加工を目的に、各種材料の熱影響や劣化現象について調査をしている。

本報告は、代表的な3種類の石材に対し、電気炉を使用して加熱温度および加熱時間の条件を変化させた場合の熱影響や劣化現象を調査した結果を述べる。

2. 実験概要

2.1 試験体

使用した石材の詳細を表1、各石材の成分を分析した結果を表2に示す。

試験体には、内外装材料や床材、コンクリー

表1 使用石材の詳細

石材	産地	吸水率 (%)	密度 (kg/m ³)	比熱 (kJ/kg·K)	熱伝導率 (W/m·K)	熱拡散率 (m ² /h)
安山岩	山梨県大月市	2.5	2500	1.212	1.745	5.76E-04
砂岩	埼玉県秩父郡	11	2700	0.72	1.63	8.39E-04
石灰岩	東京都八王子市	0.5 - 5.0	2700	1.122	2.093	6.91E-04

表2 使用石材の成分分析

石材	含有化合物 (%)					
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
安山岩	20.03	62.25	0.89	10.07	0.43	5.99
砂岩	14.03	78.53	3.05	1.33	0.42	2.32
石灰岩	1.23	1.81	0.00	96.18	0.21	0.42

表3 実験条件

使用石材	電気炉内温度(°C)	加熱時間(min)	n数	試験体数(個)
安山岩	500	10	3	216
		20		
砂岩	750	30	3	216
		40		
		60		
石灰岩	1250	50	3	216
		60		

表4 電気炉の詳細

使用電源	AC100V 50/60Hz
定格消費電力	1.3kW
制御方法	全自動プログラム制御
寸法	340×310×405mm
使用最高温度	1250°C
発熱体	鉄クロム線
炉材	アルミナファイバー

Research on thermal deterioration of various stone materials

Kazuki SHIMIZU, Motoki IMAZEKI, Ryuhei TONE and Kaori NAGAI

トに使用されている安山岩・砂岩・石灰岩の3種類とし、コンクリートを作製する際に使用する骨材とした。なお、骨材の形状は天然のままとし、寸法はおおよそ20×20mmのものを選定した。

2.2 実験方法

実験条件を表3、実験に使用した電気炉（N社製 NHK-170AF）の詳細を表4に示す。

加熱温度は500℃から、250℃ごとに1250℃までの4水準とし、加熱時の最高温度保持時間（以下、加熱時間）は10分から60分までの6水準とした。

電気炉内の加熱温度を、あらかじめ設定した各温度にし、その後耐熱板の上に載せた各種石材を電気炉内に入れ、急熱を行った。所定の加熱時間を保持した後に加熱を終了し、電気炉内から試験体を取り出し、試験体温度が室内温度と同程度になるまで自然徐熱を行った。

2.3 評価方法

実験前に試験体の質量および体積をそれぞれ測定した。質量の測定は電子秤、体積はメスシリンダーを用いたアルキメデスの原理で測定をした。自然徐熱を行ってから24時間経過後、再度同様の測定方法で試験体の質量および体積を測定し、それぞれ減少率の計算を行った。また、目視観察およびデジタルマイクロスコープ（K社 VHX-5000）を用いて、ガラス化の有無やひび割れ、時間経過による試験体の変化観察を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 質量変化率

各種石材の加熱時間に対する質量変化率を図1に示す。

安山岩、砂岩に関しては加熱温度の違い、また加熱時間の違いによる質量変化は少ない結果となった。それに対し、石灰岩は加熱温度が高くなる程、また加熱時間が長くなる程質量減少が大きくなる結果となった。

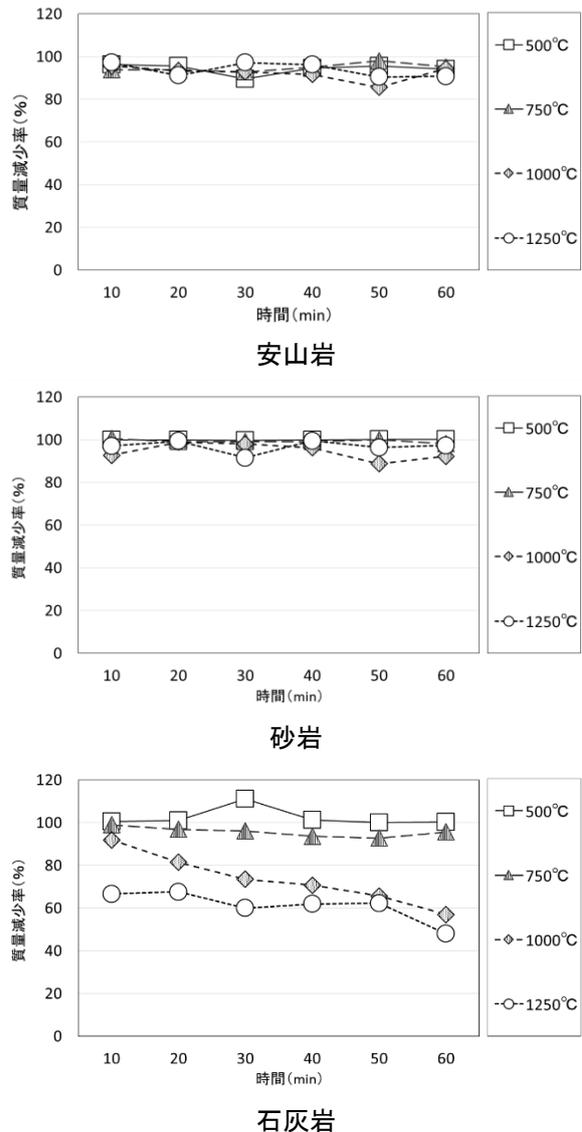


図1 加熱時間による質量変化率

石灰岩は、500℃および750℃では質量減少は小さいが、1000℃では加熱時間に比例して質量が減少している。1250℃では20分を超えるあたりから質量減少が60%前後、また60分では質量減少が60%を下回る結果となった。これにより石灰岩は、加熱温度や加熱時間による熱影響を大きく受けることが分かる。

3.2 体積変化率

各種石材の加熱時間に対する体積変化率を図2に示す。

安山岩は、各加熱温度および加熱温度でも体積の増減の変化は大きく見られなかった。

砂岩は、1000℃の50分までは体積の変化は

見られなかったが、1000℃の50分を超えると体積が増加する結果となった。1250℃では加熱時間が長くなるにつれて、体積は増加傾向にある。これは砂岩に含まれている石英が約575℃でα型からβ型に転移する際、急激に膨張するためだと考える⁶⁾。この結果から、砂岩は1000℃の50分を超える加熱時間、および1250℃の加熱温度から熱膨張し体積が増えるため、ひび割れが生じやすくなると思われる。

石灰岩は、500℃では各加熱時間で体積の変化は見られなかった。しかし、加熱温度が750℃を超えると石灰岩の表層が剥離したり、ひび割れが生じたりして体積は測定不能であった。体積は測定不能だが、質量は減少しており、また目視観察でも縮小していることが確認できたため、体積は減少していると思われる。これは、石灰岩の主要鉱物である方解石が約650～900℃で熱分解し、炭酸ガスを放出するためであると思われる⁷⁾。

3.3 石材の加熱変化

各種石材の加熱後の試験体を写真3に示す。

安山岩は、750℃では各加熱時間も主に色の変化が見られ、ひび割れは見られなかった。1000℃も主に色の変化が見られたが、加熱時間50分のみ爆裂が生じた。1250℃では加熱時間10分のみが色の変化が起こり、20分を超えるとガラス化が生じた。また加熱時間が長くなるにつれ、ガラス化現象が大きくなり、40・50分では石材の溶融した一部が耐熱板にくっつき、60分では、石材全体が溶融する結果となった。このことから、安山岩は1250℃でガラス化が起こり、加熱時間が長くなる程溶融していくと考える。

砂岩は、750℃までは各加熱時間も主に色の変化が見られ、ひび割れは見られなかった。しかし1000℃では各加熱時間すべてにひび割れが生じ、一部の石材は爆裂、また大きいひび割れが生じ破壊された。1250℃では各加熱時間もひび割れが生じたが、20分を超えると

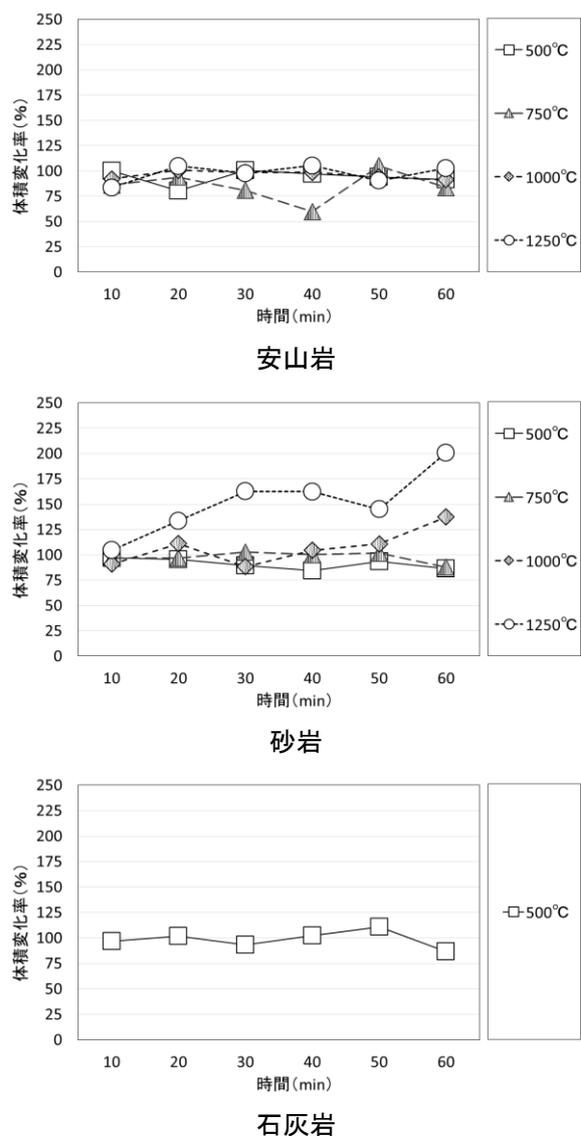


図2 加熱時間による体積変化率

ガラス化が生じ、30分を超えると溶融した一部が耐熱板にくっつく結果となった。また、60分のみ、加熱後の試験体は無数の細かい孔が開いていた。これは石材に含まれるガス成分が抜けた跡だと考える。(写真4)

石灰岩は、500℃では各加熱時間も大きな変化は見られず、24時間経過してもひび割れなどは見られなかった。しかし、750℃では各加熱時間で表層部分が剥離し、1000℃および1250℃では加熱終了直後はひび割れのみであったが、24時間経過後は崩れるように破壊されていた。また、1250℃で30分を超えると、目視でも分かるほど縮小していた。この結果が



500°C



750°C



1000°C



1250°C

写真3 加熱終了から24時間後の試験体(加熱時間60分)

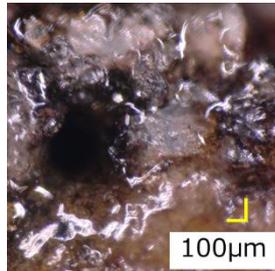


写真4 砂岩表面
(1250°C・60分)

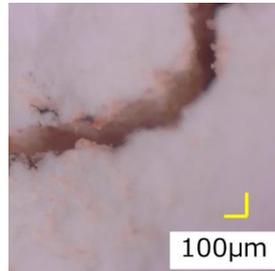


写真5 石灰岩表面
(1250°C・60分)

ら、750°Cから熱分解が起こり、1000°C以上の加熱温度ではひび割れ、または縮小が生じると考える。(写真5)

本実験では、安山岩および砂岩に爆裂が起きたのは、加熱開始から約20秒以内であった。20秒を超えた場合はどの加熱温度、加熱時間でも爆裂が起こることを確認できなかった。そのため、石材のみの爆裂といった現象は急熱の時のみ、また20秒以内に発生する現象であると考え。

4. まとめ

本報告により得られた知見を以下に示す。

- (1)安山岩は、加熱温度および加熱時間による質量、体積の変化は小さい。また、1250°Cで20分を超えるとガラス化し、さらに加熱時間が増えるとガラス化の現象がおおきくなり、最終的には熔融する。
- (2)砂岩は、加熱温度および加熱時間による質量の変化は小さいが、1000°Cの50分以上から、加熱温度および加熱時間が増加すると体積は増加し、ひび割れ、または破壊が生じ

やすくなる。1250°Cではガラス化が生じる。

(3)石灰岩は、加熱温度が高くなる程、また加熱時間が長くなる程質量が減少する。また、750°Cを超えると、ひび割れや破壊が生じるため測定が困難になる。750°Cから熱分解が起こり、表面が剥離し、750°C以上の加熱温度ではひび割れが生じ、24時間経過後には脆くなり、破壊される。

- (4)石材の爆裂は、急熱状況で20秒以内に発生する。

参考文献

- 1) 下田光一：光・量子エレクトロニクスの世界と将来展望、応用物理 第69巻 第8号、2000、pp.929-933
- 2) 片山聖二：レーザー溶接技術開発の最新動向、溶接学会誌 第80巻 第7号、2011、pp.11-18
- 3) 小林昭：レーザー加工、精密機械 47巻 12号、1981、pp.96-100
- 4) 藤井堅、北根安雄、中野正：鋼材表面の素地調整としてのレーザーケレンの適用性、橋梁と基礎 52、2018、pp.31-34
- 5) 杉本賢司：建築分野におけるレーザーの将来展望、レーザー学会学術講演会第18回年次大会、1998、pp.101-104
- 6) セメント協会：セメント・コンクリート化学の基礎解説、1996、p.246
- 7) 古木文平：鉱物工学、技報堂、1959、pp.107-108